Trabalho de Conclusão de Curso

PROPOSTA DE METODOLOGIA DE ESTUDO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL AOS DESASTRES NATURAIS – CASO RODOVIA BR-280, EM SANTA CATARINA

Jéssica Prats Raspini

Universidade Federal de Santa Catarina
Graduação em
Engenharia Sanitária e Ambiental

Jéssica Prats Raspini

PROPOSTA DE METODOLOGIA DE ESTUDO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL AOS DESASTRES NATURAIS - CASO RODOVIA BR-280, EM SANTA CATARINA

Trabalho apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina para a Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental
Orientador: Prof. Dr. Rafael dos Reis Higashi
Coorientador: Prof. Dr. Pedro Luiz Borges Chaffe

Florianópolis
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Raspini, Jéssica Prats
Proposta de metodologia de estudo da vulnerabilidade ambiental aos desastres naturais - caso BR-280, em Santa Catarina / Jéssica Prats Raspini ; orientador, Rafael dos Reis Higashi ; coorientador, Pedro Luiz Borges Chaffe. - Florianópolis, SC, 2017.
148 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Inclui referências

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Vulnerabilidade. 3. Desastres naturais. 4. Rodovia. 5. Análise Multicritério. I. Higashi, Rafael dos Reis. II. Chaffe, Pedro Luiz Borges. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. IV. Título.

Jéssica Prats Raspini

PROPOSTA DE METODOLOGIA DE ESTUDO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL AOS DESASTRES NATURAIS – CASO RODOVIA BR-280, EM SANTA CATARINA

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos para a conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental – TCC II.

Florianópolis, 10 de março de 2017.

Prof. Dr. Rafael dos Reis Higashi
Orientador

Prof. Dr. Pedro Luiz Borges Chaffe
Coorientador

Banca Examinadora:

Geógrafa Caroline Helena Rosa Lopes
Membro da banca

Prof.ª Dr.ª Maria Eliza Nagel Hassemer
Membro da banca

AGRADECIMENTOS

Agradeço em especial à minha mãe, **Sandra Prats**, por todo o amor, incentivo e apoio incondicional. Você sempre será referência de cuidado e dedicação. Agradeço também ao meu irmão, **Vitor Prats**, por todo o companheirismo e irmandade.

Ao meu namorado, melhor amigo e companheiro em todos os momentos, **Eduardo Luiz Martins**, dedico o meu mais sincero muito obrigada! Agradeço por todo o amparo, compreensão e carinho inesgotáveis. Obrigada por compartilhar comigo os meus e o seus sonhos!

Agradeço também aos colegas de curso, principalmente a **Bianca Maraschin**, **Bruna Bison**, **Júlia Mattiello**, **Magali Ritter** e **Natália Silvério**, com as quais tive o privilégio de conviver ao longo desses anos.

Agradeço aos professores **Rafael Higashi** e **Pedro Chaffe** pelo auxílio no desenvolvimento deste estudo.

Agradeço ao meu cachorro e companheiro fiel, **Bart**, que com sua energia e alegria contagiantes transformava os momentos estressantes em memórias de amor puro.

Por fim, agradeço a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada!

RESUMO

O modal rodoviário possui participação predominante na matriz de transporte de cargas e pessoas no Brasil. Mudanças climáticas influenciam diretamente na qualidade e na segurança de rodovias. Alterações no padrão de precipitação, temperaturas mais altas e eventos climáticos extremos são apenas alguns dos fatores que causam interferência na infraestrutura rodoviária. Desse modo, o presente trabalho propõe uma metodologia, de modo a identificar os trechos da rodovia BR-280/SC mais vulneráveis ambientalmente aos desastres naturais. O estudo se procedeu a partir de bases cartográficas, imagens de satélites e dados públicos governamentais. O procedimento de análise de vulnerabilidade foi realizado através do método multicritério, por meio da elaboração de mapas temáticos de altitude, geologia, pedologia, uso e ocupação da terra, VMD (Volume Médio Diário), cobertura vegetal, precipitação, hidrografia e declividade. Posteriormente, aplicou-se o Processo de Análise Hierárquica (AHP) a fim de atribuir pesos de modo a classificar hierarquicamente a contribuição das variáveis selecionadas para a vulnerabilidade da via. Por último, por intermédio de técnicas de geoprocessamento aplicadas no *software* ArcGIS, realizou-se o cruzamento dos elementos considerados, obtendo-se os mapas de vulnerabilidade natural, risco antrópico e, por fim, o mapa de vulnerabilidade ambiental aos desastres naturais. A análise integrada das características naturais e antrópicas identificaram na rodovia BR-280/SC áreas de média (43,9%), alta (48,0%) e muito alta (8,1%) vulnerabilidade ambiental. O ferramental metodológico utilizado permitiu o julgamento das variáveis de modo imparcial e minimizou os erros durante o processo. No entanto, para a realização de um estudo mais detalhado, recomenda-se o aprimoramento da metodologia.

Palavras-chave: Vulnerabilidade ambiental. Desastres naturais. Análise multicritério. Processo Analítico Hierárquico. Rodovia. BR-280.

ABSTRACT

The road modal has a predominant participation in the freight and people transportation matrix in Brazil. Climate change has directly influence in the quality and safety of the highways. Changes in precipitation patterns, higher temperatures and extreme weather events are just some of the factors that cause interference in the road infrastructure. In this way, the present work proposes a methodology, in order to identify the sections of the highway BR-280/SC that are more environmentally vulnerable to natural disasters. The study was based in cartographic data, satellite images and public governmental data. The vulnerability analysis procedure was performed through the multicriteria method, through the elaboration of thematic maps of altitude, geology, pedology, soil use and occupation, ADV (Average Daily Volume), vegetation cover, precipitation, hydrography and slope. Subsequently, the Hierarchy Analysis Process (AHP) was applied in order to assign weights to classify hierarchically the contribution of the selected variables to the highway vulnerability. Finally, by geoprocessing techniques applied in the ArcGIS software, the considered elements were crossed, obtaining the maps of natural vulnerability, anthropic risk and, at last, the map of environmental vulnerability to natural disasters. Areas of medium (43.9%), high (48.0%) and very high (8.1%) environmental vulnerability were identified in the integrated analysis of the natural and anthropic characteristics of the BR-280/SC highway. The methodological tool used allowed the judgment of the variables in an unbiased way and minimized the errors during the process. However, for a more detailed study, it is recommended to improve the methodology.

KEYWORDS: Environmental vulnerability. Natural disasters. Multicriteria analysis. Hierarchical Analytical Process. Highway. BR-280.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cratera no km 93 da rodovia BR-280, trecho São Bento do Sul - Corupá 50
Figura 2 - Obras de reestabelecimento do km 90 da BR-280, trecho São Bento do Sul - Corupá 51
Figura 3 - Queda de barreira no km 95 da BR-280, trecho São Bento do Sul - Corupá 51
Figura 4 - Médias mensais, de 2006 a 2015, dos índices pluviométricos da estação Corupá, em Corupá (SC) 52
Figura 5 - Dados de precipitação diária referentes ao mês de junho de 2014, estação pluviométrica CORUPÁ 53
Figura 6 - Dados de precipitação diária referentes ao mês de outubro de 2015, estação pluviométrica CORUPÁ 53
Figura 7 - Número de artigos produzidos por ano que abordam o método AHP, conforme pesquisa no banco de *Science Direct* 60
Figura 8 - Estrutura do AHP 62
Figura 9 - Estrutura da matriz de comparações 63
Figura 10 - Etapas do método MACBETH 67
Figura 11 - Etapas do processo de decisão do PROMETHEE 70
Figura 12 - Funções de preferência do método PROMETHEE 70
Figura 13 - Mapa de localização da rodovia BR-280 em Santa Catarina 73
Figura 14 - Fluxograma da metodologia aplicada 74
Figura 15 - Fluxograma da elaboração do mapa de vulnerabilidade ambiental 76
Figura 16 - Distribuição das estações pluviométricas ao longo da BR-280/SC 89
Figura 17 - Estrutura hierárquica relativa à vulnerabilidade natural 93
Figura 18 - Estrutura hierárquica relativa ao risco antrópico 96
Figura 19 - Fluxograma da álgebra de mapas 97
Figura 20 - Classes de altitude da BR-280/SC 99
Figura 21 - Mapa hipsométrico da rodovia BR-280/SC 100
Figura 22 - Classes de declividade do terreno, em porcentagem, da BR-280/SC 101
Figura 23 - Mapa de declividade em porcentagem da BR-280/SC 102
Figura 24 - Mapa hidrográfico da BR-280/SC 103
Figura 25 - Classes de solo verificados na BR-280/SC 104
Figura 26 - Classes geológicas presentes na BR-280/SC 105
Figura 27 - Mapa pedológico da BR-280/SC 106
Figura 28 - Mapa geológico da BR-280/SC 107

Figura 29 - Médias pluviométricas anuais, em mm, verificadas na BR-280/SC 108
Figura 30 - Classes de cobertura vegetal presentes na BR-280/SC 109
Figura 31 - Mapa de precipitação da BR-280/SC 110
Figura 32 - Mapa de cobertura vegetal da BR-280/SC 111
Figura 33 - Classes de Volume Médio Diário de tráfego na BR-280/SC (2009).....112
Figura 34 - Classes de uso e ocupação da terra verificadas na BR-280/SC 113
Figura 35 - Mapa de Volume Médio Diário de trágefo da BR-280/SC 114
Figura 36 - Mapa de uso e ocupação da terra da BR-280/SC 115
Figura 37 - Classe de vulnerabilidade natural da rodovia BR-280/SC 116
Figura 38 - Mapa de vulnerabilidade natural, movimentos de massa e erosão, da BR-280/SC.....118
Figura 39 - Mapa de vulnerabilidade natural, inundação, alagamento e enxurrada, da BR-280/SC 119
Figura 40 - Mapa de vulnerabilidade natural da rodovia BR-280/SC..120
Figura 41 - Classes de risco antrópico da rodovia BR-280/SC.....121
Figura 42 - Mapa de risco antrópico da BR-280/SC.....122
Figura 43 - Classes de vulnerabilidade ambiental da rodovia BR-280/SC 123
Figura 44 - Mapa de vulnerabilidade ambiental da BR-280/SC 125

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Escala fundamental proposta por Saaty 62
Quadro 2 - Aspectos positivos e negativos do AHP..... 66
Quadro 3 - Matriz de juízos de valor - MACBETH..... 68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índice de Aleatoriedade (RI) 64
Tabela 2 - Pesos relacionados às classes hipsométricas 81
Tabela 3 - Classificação da declividade de um terreno 81
Tabela 4 - Pesos relacionados às classes de declividade 82
Tabela 5 - Pesos relacionados às classes de uso e ocupação da terra 84
Tabela 6 - Pesos relacionados às classes de solo 84
Tabela 7 - Pesos relacionados às classes de rochas 86
Tabela 8 - Pesos atribuídos às classes de precipitação (mm) 90
Tabela 9 - Pesos atribuídos às classes de cobertura vegetal 91
Tabela 10 - Pesos relacionados às classes de VMD 91
Tabela 11 - Matriz de comparação pareada 94
Tabela 12 - Pesos para a elaboração do mapa de vulnerabilidade ambiental 95
Tabela 13 - Pesos para a elaboração do mapa de risco antrópico 95
Tabela 14 - Reordenação das classes de vulnerabilidade 98

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	Processo de Análise Hierárquica
ANA	Agência Nacional de Águas
CEPED	Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EM-DAT	*The International Disasters Database*
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
EUA	Estados Unidos da América
FIESC	Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina
IC	Índice de Consistência
IDW	*Inverse Distance Weighting*
IN	Instrução Normativa
INFORMS	*Institute for Operations Research and the Management Sciences*
IN-MI	Instrução Normativa do Ministério da Integração Nacional
IR	Índice Randômico
MACBETH	*Measuring Attractiveness by a Category Based Evaluation Technique*
MCDM	*Multiple Criteria Decision Making*
MDT	Modelo Digital do Terreno
NRC	Comissão Reguladora Nuclear
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
ISCU	*International Council for Science*
PNA	Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima
PNPDEC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
PPL	Problemas de Programação Linear
PROMETHEE	*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evalutions*
RA	Risco Antrópico
RC	Razão de Consistência

SDS	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável
TI	Tecnologia da Informação
VA	Vulnerabilidade Ambiental
VMD	Volume Médio Diário
VN	Vulnerabilidade Natural

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....47
1.1 MOTIVACIONAL.....48
2. OBJETIVOS.....55
2.1 OBJETIVO GERAL.....55
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....55
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....55
3.1 DESASTRES.....55
3.2 VULNERABILIDADE.....57
3.2.1 Vulnerabilidade da malha rodoviária.....57
3.3 MÉTODOS DE AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO POR MÚLTIPLOS CRITÉRIOS.....58
3.3.1 Processo Analítico Hierárquico.....58
3.3.2 MACBETH.....67
3.3.3 PROMETHEE.....69
3.3.4 Seleção do método multicritério.....72
4. METODOLOGIA.....72
4.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO.....72
4.2 MAPA DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL AOS DESASTRES NATURAIS ATRAVÉS DO MÉTODO AHP.....74
4.3 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS E JUSTIFICATIVA.....74
4.3.1 Geologia.....76
4.3.2 Pedologia.....77
4.3.3 Declividade.....77
4.3.4 Altimetria.....77
4.3.5 Cobertura vegetal..... .78
4.3.6 Hidrografia.....78
4.3.7 Precipitação.....78

4.3.8 Uso e ocupação da terra.....79
4.3.9 Volume Médio Diário.....79
4.4 MAPEAMENTO E ANÁLISE DAS VARIÁVEIS.....79
4.4.1 Mapa hipsométrico.....80
4.4.2 Mapa de declividades.....81
4.4.3 Mapa de uso e ocupação da terra.....82
4.4.4 Mapa pedológico.....84
4.4.5 Mapa geológico.....85
4.4.6 Mapa hidrológico.....86
4.4.7 Mapa de pluviometria.....86
4.4.8 Mapa de cobertura vegetal.....90
4.4.9 Mapa de Volume Médio Diário (MVD).....91
4.5 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE DECISÃO MULTICRITERIAL.....92
4.5.1 Fase teórica.....92
4.5.2 Fase operacional.....96
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....98
5.1 ANÁLISE DAS VARIÁVEIS.....98
5.2 MAPEAMENTO DAS ÁREAS VULNERÁVEIS.....116
6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....126
7. REFERÊNCIAS.....128
APÊNDICE I.....139
APÊNDICE II.....144

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas globais têm sido alvo de discussões e pesquisas científicas. O aumento da temperatura média do planeta é consequência, dentre outros fatores, das crescentes emissões de gases responsáveis pelo efeito estufa na atmosfera. Evidências das mudanças do clima já podem ser percebidas através de eventos climáticos extremos, como secas, enchentes, ondas de calor e de frio, furacões e tempestades.

O modal rodoviário possui participação predominante na matriz de transporte de cargas e pessoas no Brasil. Mudanças climáticas influenciam diretamente na qualidade e na segurança das rodovias. Alterações no padrão de precipitação e eventos climáticos extremos são apenas alguns dos fatores que causam interferência na infraestrutura rodoviária. Como resultado das precipitações extremas, entre os anos de 1991 e 2012, foram totalizadas nos municípios catarinenses 1.696 ocorrências de enxurradas, 449 de inundações e 36 registros de movimentos de massa (CEPED UFSC, 2013). O processo de deterioração das estradas é acelerado por esses eventos, aumentando o risco de ocorrências como colapso e interrupção da pista e isolamento de cidades, ocasionando prejuízos socioeconômicos e transtornos para a população, além de possíveis fatalidades.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2001) define vulnerabilidade como o grau pelo qual um sistema é suscetível ou incapaz de enfrentar efeitos adversos da mudança climática, incluindo a variabilidade e os extremos do clima. A vulnerabilidade é, portanto, função do caráter, magnitude e rapidez da mudança climática e da variação a que um sistema está exposto, de sua sensibilidade e sua capacidade de adaptação. Nesse contexto, torna-se conveniente a seleção de critérios para a avaliação da vulnerabilidade, a fim de mapear os trechos de rodovia mais ambientalmente vulneráveis aos desastres naturais.

A rodovia BR-280, em Santa Catarina, liga o litoral norte com o oeste do estado, totalizando 308,7 km. Tal rodovia é de significativa importância no contexto socioeconômico para o estado de Santa

Catarina. Todavia, diversos trechos da BR-280/SC têm sido afetados constantemente pelas chuvas intensas.

De modo a caracterizar os trechos vulneráveis aos desastres naturais, através do mapeamento destas áreas, propôs-se uma metodologia baseada no processo de decisão hierárquica (AHP) a fim de identificar os níveis de vulnerabilidade aos quais a rodovia BR-280 está sujeita, levando em consideração características naturais (declividade do terreno, geologia, pedologia, cobertura vegetal, hidrologia e precipitação do local de estudo) e antrópicas (uso e ocupação da terra e volume médio diário de tráfego da via).

A seção 1 deste trabalho apresenta o caráter de motivação para a realização do presente estudo. A seção 2 é composta pelos objetivos geral e específicos. A seção 3 consiste em uma revisão da bibliografia mais relevante e atualizada dos temas abordados no presente estudo. São expostas as metodologias multicritérios amplamente aceitas nas pesquisas atuais, assim como são apresentados os conceitos de desastres e vulnerabilidade. A seção 4 conta com uma descrição sucinta da área de estudo, além dos procedimentos metodológicos empregados para a elaboração do mapa de vulnerabilidade ambiental. A seção 5 exibe os resultados obtidos a partir da metodologia proposta. Por fim, na seção 6, são apresentadas as principais conclusões a cerca da análise de tais resultados, além de considerações e sugestões para trabalhos futuros.

1.1 MOTIVACIONAL

Eventos climáticos extremos e desastres meteorológicos - tais como enchentes, secas prolongadas, ondas de calor e precipitações intensas - têm se tornado mais frequentes e acentuados devido à constante mudança global do clima. Os impactos nas rodovias variam de acordo com as vulnerabilidades características de cada via. Estes eventos podem ocasionar complicações de tráfego severas, como danos na infraestrutura rodoviária, congestionamentos, acidentes e até mesmo fatalidades; limitando a mobilidade urbana e impactando a economia e a qualidade de vida das populações. Para Santos e Ribeiro (2015) as condições meteorológicas adversas implicam também em um aumento no tempo médio de viagem, além de um maior custo na logística de distribuição de bens e dificuldade de acesso a serviços.

De modo geral, o sistema de transportes tem papel fundamental no funcionamento de outros sistemas necessários à vida cotidiana, especificamente para a mobilidade de pessoas, bens e serviços, tendo impacto direto no desenvolvimento de um país. Sendo assim, eventos ou desastres que geram a ruptura no sistema de transporte podem ocasionar o caos na sociedade.

Como resultado das intensas precipitações, citam-se os seguintes impactos previstos na infraestrutura rodoviária:

(i) Aumento da inundação de vias, pontes baixas e túneis;

(ii) Aumento da frequência e da gravidade do transbordamento do sistema de drenagem;

(iii) Aumento da inundação de rotas de evacuação;

(iv) Atrasos e interrupções de tráfegos de veículos;

(v) Incidência de catástrofes em estradas causadas por movimentos de massa e erosão;

(vi) Prejuízos na sinalização de rodovias e pontes.

O estado de Santa Catarina é marcado pela ocorrência frequente de eventos naturais extremos, principalmente decorrentes de precipitações intensas:

> "A região Sul do Brasil é uma área de passagem de frentes frias em frontogênese, o que proporciona mudanças bruscas de tempo e notáveis desvios pluviométricos anuais. Nas estações de primavera e verão, os índices pluviométricos vinculam-se aos sistemas de frentes estacionárias e processos convectivos, durante as estações de outono e inverno, os sistemas frontais e os vórtices ciclônicos podem provocar chuvas violentas ao longo de toda a costa, que consequentemente agravam-se com o efeito orográfico (HERRMANN *et al*., 2005). O Estado de Santa Catarina também é afetado por episódios pluviais irregulares decorrentes do fenômeno *El Niño* que provoca, em determinadas circunstâncias, chuvas intensas" (CARDOZO; HERMANN; PEREIRA, 2010).

Entre os anos de 1991 e 2012, foram totalizados nos municípios catarinenses 1.696 ocorrências de enxurradas, 449 de inundações e 36 registros de movimentos de massa (CEPED UFSC, 2013).

A rodovia BR-280, em Santa Catarina, sofre com as consequências de eventos climáticos extremos, principalmente de intensas precipitações. No dia oito de junho de 2014, uma cratera se abriu no km 93 da rodovia, no trecho que liga São Bento do Sul e Corupá, após a queda de uma barreira, a qual fez o asfalto ceder (Figura 1 e Figura 2). Nesta ocasião, a presença de um gasoduto no local retardou o reestabelecimento do trecho (VILLANOVA, 2014).

Figura 1 - Cratera no km 93 da rodovia BR-280, trecho São Bento do Sul - Corupá

Fonte: Theiss (2014)

Figura 2 - Obras de reestabelecimento do km 90 da BR-280, trecho São Bento do Sul - Corupá

Fonte: Lammerhirt (2014)

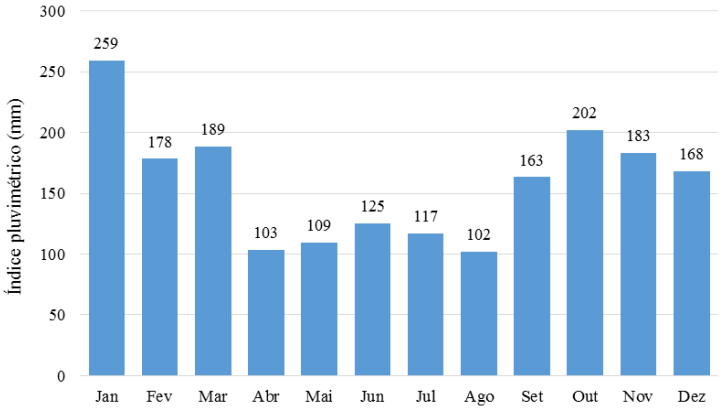
Em outra ocorrência, no dia 22 de outubro de 2015, também no trecho que liga São Bento do Sul e Corupá, km 95; uma queda de barreira (Figura 3) interditou a pista pelo período aproximado de dois dias (REMOR, 2015).

Figura 3 - Queda de barreira no km 95 da BR-280, trecho São Bento do Sul - Corupá

Fonte: Silvino 2015 apud Remor (2015)

O município de Corupá, local das ocorrências supracitadas, apresenta pluviometria média mensal de 158 mm, com maiores índices de precipitação mensal em janeiro (259 mm) e menores entre os meses de abril e agosto. Os dados históricos de precipitação média mensal, período de janeiro de 2006 a dezembro de 2015, para o município de Corupá são exibidos na Figura 4. As informações pluviométricas foram disponibilizadas pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2016) para a estação pluviométrica CORUPÁ, localizada no município de Corupá (SC), Código 2649013, Latitude: 26°25'26" S, Longitude: 49°17'33" W, operada pela EPAGRI e localizada a cerca de quatro quilômetros do km 95 da BR-280.

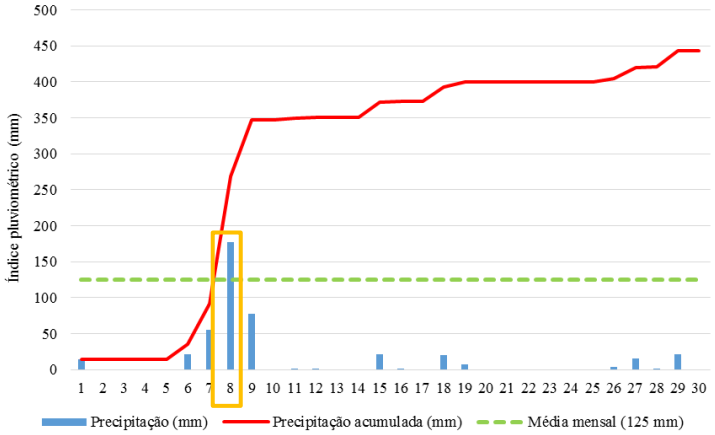
Figura 4 - Médias mensais, de 2006 a 2015, dos índices pluviométricos da estação Corupá, em Corupá (SC)



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

A estação pluviométrica CORUPÁ registrou índices pluviométricos de 177 mm no dia 08 de junho de 2014, período do registro da ocorrência no km 93 da BR-280 (Figura 1 e Figura 2). A quantidade de precipitação ocorrida neste dia é equivalente a 141,6 % da precipitação mensal esperada para junho, correspondente a 125 mm (Figura 5).

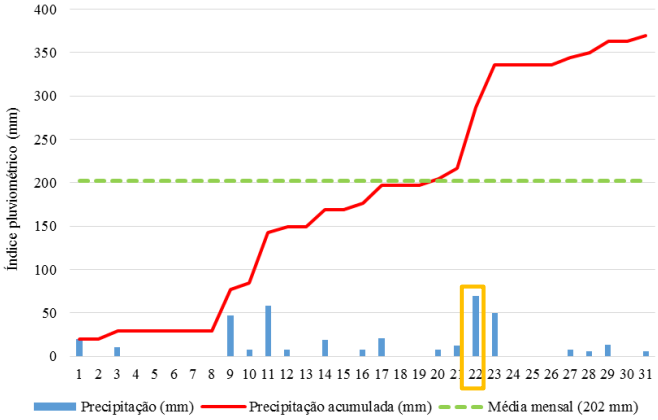
Figura 5 - Dados de precipitação diária referentes ao mês de junho de 2014, estação pluviométrica CORUPÁ



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Os dados históricos de precipitação diária para o período de outubro de 2015, data da ocorrência registrada no km 95 da BR-280 (Figura 3), são apresentados na Figura 6. A quantidade de precipitação ocorrida no dia 22 (69,9 mm) é equivalente a 34,6 % da precipitação mensal esperada para outubro, correspondente a 202 mm.

Figura 6 - Dados de precipitação diária referentes ao mês de outubro de 2015, estação pluviométrica CORUPÁ



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

O Brasil não possui um banco de dados consistente sobre os efeitos de eventos climáticos na infraestrutura rodoviária. Tais informações são importantes para a determinação da resiliência atual das rodovias e para prover a base para estudos sobre impactos relacionados ao clima futuro (ANGELO; FEITOSA, 2016). O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) mantém um sistema de registro das ocorrências de chuvas e emergências nas rodovias federais sob sua administração. Tais informações são disponibilizadas em forma de tabela no *site* do DNIT (DNIT, 2016).

Na data de 10 de abril de 2012, foi instituída pela Lei nº 12.608/2012 a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) (BRASIL, 2012). Segundo as diretrizes da PNPDEC, o gerenciamento de riscos e de desastres deve abranger as ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação. Mais recente, o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA) foi instituído no dia 10 de maio de 2016, através da Portaria nº 150 (BRASIL, 2016). Trata-se de um instrumento elaborado pelo governo federal em parceria com a sociedade civil, setor privado e governos estaduais, com o objetivo de promover a redução da vulnerabilidade nacional à mudança do clima e realizar a gestão do risco associado a esse fenômeno (MMA, 2016). O PNA apresenta estratégias de adaptação propostas para os setores e temas elencados como prioritários para o desenvolvimento sustentável do País, dentre os quais, destacam-se os setores de Infraestrutura e Transportes.

Neste contexto, o mapeamento dos trechos da rodovia BR-280/SC mais vulneráveis aos desastres naturais é processo fundamental para a gestão dos impactos e, consequentemente, para atuar na redução dos mesmos. Ademais, o mapeamento de tais trechos auxilia na distribuição de recursos financeiros, de forma a direcioná-los para os locais mais críticos da rodovia.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal do presente estudo consiste em elaborar uma proposta de metodologia de mapeamento de vulnerabilidade ambiental aplicável às rodovias, tendo como caso de estudo a rodovia BR-280 em Santa Catarina.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Gerar uma base digital de características naturais e antrópicas da área de estudo, a partir de cartas topográficas, imagens de satélite e dados públicos, com o auxílio de um Sistema de Informações Geográficas;
- Atribuir notas aos subcritérios a partir do julgamento dos especialistas, a fim de mapear e avaliar tais características quanto à propensão aos desastres naturais advindos da precipitação intensa;
- Atribuir pesos aos critérios para classificar gradualmente e mapear os trechos da BR 280/SC mais ambientalmente vulneráveis aos desastres naturais.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 DESASTRES

Segundo ISCU (2005), os desastres são caracterizados como uma grave perturbação do funcionamento de uma comunidade ou sociedade, causando significativas perdas sociais, materiais, econômicas ou ambientais, que excedem a habilidade da comunidade ou sociedade afetada de lidar usando seus recursos próprios. Ele é o resultado da combinação dos perigos, das condições de vulnerabilidade e das insuficientes capacidades de medir ou reduzir as potenciais consequências negativas do risco.

O Glossário de Defesa Civil Estudos de Riscos e Medicina de Desastres (1998) caracteriza desastre como o resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema (vulnerável), causando danos humanos, materiais e/ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais.

Nacionalmente, a classificação oficial dos desastres é estabelecida pelo Anexo I da Instrução Normativa nº 01, de 24 de agosto de 2012, do Ministério da Integração Nacional (IN - MI nº 01/2012). Conforme a IN 01, Artigo 7 e Parágrafo 2, são desastres naturais aqueles causados por processos ou fenômenos naturais que podem implicar em perdas humanas ou outros impactos à saúde, danos ao meio ambiente, à propriedade, interrupção dos serviços e distúrbios sociais e econômicos.

No presente estudo, o conceito de desastre escolhido é o de Castro (1998), que expõe que os desastres naturais são resultados de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, causando danos humanos, materiais e ambientais com consequentes prejuízos econômicos e sociais. O autor alega que a intensidade de um desastre depende da interação entre a magnitude do evento adverso e a vulnerabilidade do sistema, e é quantificada em função dos danos e prejuízos.

A seguir, será apresentada uma breve descrição dos desastres naturais recorrentes de precipitação pluviométrica intensa - inundação, enxurrada, alagamento, movimento de massa e erosão-, eventos extremos que podem acometer as rodovias. Os conceitos abaixo foram retirados do Glossário de Defesa Civil Estudos de Riscos e Medicina de Desastres (1998) e do EM-DAT (*The International Disasters Database*):

- Inudação: expressão genérica para o transbordamento de água, em níveis acima do normal, do leito usual do rio em direção às planícies de inundação ou leitos de inundação;
- Enxurrada: rápidas inundações fluviais que ocorrem devido à precipitação intensa, sendo de curta duração;
- Alagamento: água acumulada no leito das ruas e no perímetro urbano por fortes precipitações pluviométricas, em cidades com sistemas de drenagem deficientes;
- Movimento de massa: qualquer tipo de movimentação do solo, com velocidade de moderada à rápida, incluindo deslizamentos de terra e fluxos de detritos; e
- Erosão: desagregação e remoção do solo ou de rochas, pela ação da água, vento, gelo e/ou organismos (plantas e animais).

3.2 VULNERABILIDADE

A vulnerabilidade é conceituada segundo o IPCC (2001) como o grau pelo qual um sistema é susceptível ou incapaz de enfrentar efeitos adversos da mudança climática, incluindo a variabilidade e os extremos do clima. A vulnerabilidade é, portanta função do caráter, magnitude e rapidez da mudança climática e da variação a que um sistema está exposto, de sua sensibilidade e sua capacidade de adaptação.

Para De León (2006), a vulnerabilidade é usualmente caracterizada como a predisposição da sociedade a ser afetada e a incapacidade de lidar com os desastres.

Thywissen (2006) e Mendonça & Leitão (2008) expõem que a complexidade da vulnerabilidade ocorre pelo fato de que ela é específica e que seus parâmetros mudam com a escala geográfica. Os autores ressaltam que em se tratando de ambientes urbanos, as vulnerabilidades se encontram territorializadas, ou seja, cada local da cidade possui suas próprias características, que vão determinar sua vulnerabilidade e orientar as respostas de prevenção diante dos perigos.

No âmbito das alterações climáticas, a vulnerabilidade é caracterizada com uma propriedade do sistema que é propenso ou incapaz de lidar com os efeitos adversos causados pelas mudanças climáticas (YANG *et al*., 2013).

3.2.1 Vulnerabilidade da malha rodoviária

A vulnerabilidade da malha rodoviária aos desastres naturais pode ser caracterizada como resultado do histórico de ocorrência de eventos extremos, das condições ambientais adversas e das condições socioeconômicas e de infraestrutura precárias.

Berdica (2002) define a vulnerabilidade de uma rede rodoviária como a suscetibilidade a incidentes que possam reduzir consideravelmente a capacidade de oferecer serviço dessa rede.

A vulnerabilidade da malha rodoviária é função da exposição e da capacidade adaptativa do sistema, sendo que a determinação da exposição é necessária para subsidiar a definição de critérios para a escolha dos elementos da infraestrutura rodoviária com potencial de

serem afetados negativamente pelos efeitos da mudança climática (BRASIL, 2015).

Neste estudo, será considerada a definição apresentada por Yang *et. al* (2013), que caracterizam a vulnerabilidade da malha rodoviária como uma medida de suscetibilidade a desastres meteorológicos e da incapacidade de resistir aos efeitos adversos e restaurar sua condição inicial.

3.3 MÉTODOS DE AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO POR MÚLTIPLOS CRITÉRIOS

Processos de decisão complexos envolvem diversos critérios relacionados a diferentes alternativas. O Método de Auxílio à Tomada de Decisão por Múltiplos Critérios (MCDM - *Multiple Criteria Decision Making*) constitui um conjunto de métodos e técnicas que padronizam o processo de tomada de decisão através da modelagem matemática e auxiliam o avaliador no sistema decisório, por meio da priorização de alternativas na presença de múltiplos critérios. A literatura identifica diversos métodos MCDM, dentre os quais se destacam: Processo Analítico Hierárquico, MACBETH e PROMETHEE. A seguir, será apresentada uma breve descrição de cada um destes métodos, destacando sua essência e propósitos particulares.

3.3.1 Processo Analítico Hierárquico

O Processo Analítico Hierárquico (do inglês *Analytic Hierarchy Process* - AHP) é um método multicriterial de apoio à tomada de decisão que permite lidar com problemas políticos e socioeconômicos complexos, através da definição de prioridades. O AHP foi desenvolvido na década de 1970 pelo professor Thomas Saaty, Universidade da Pensilvânia, para solucionar um problema de contingência para o Departamento de Defesa dos Estados Unidos (SAATY, 1990). No ano de 2008, Saaty teve reconhecimento do *Institute for Operations Research and the Management Sciences* –

INFORMS - pela eficácia do seu método na solução de problemas multicriteriais (INFORMS, s/d).

Considera-se que os problemas, em sua maioria, podem ser mais facilmente compreendidos e solucionados quando estes são divididos em partes menores. Segundo Wolff (2008), o AHP estrutura problemas complexos de forma a transformar uma difícil decisão em algumas decisões mais simples, de maneira hierárquica. Dessa forma, determina-se a contribuição relativa dos diferentes fatores intrínsecos a um determinado problema, através da comparação pareada das alternativas em relação a critérios pré-estabelecidos. Assim, torna-se possível priorizar alternativas que são mais importantes que outras em um processo de decisão.

Em suma, o AHP é um método que auxilia os tomadores de decisão na escolha da melhor alternativa para um determinado problema, através de uma abordagem que incorpora julgamentos e valores pessoais, tendo como princípio a experiência e o conhecimento dos decisores.

3.3.1.1 Histórico da utilização do AHP

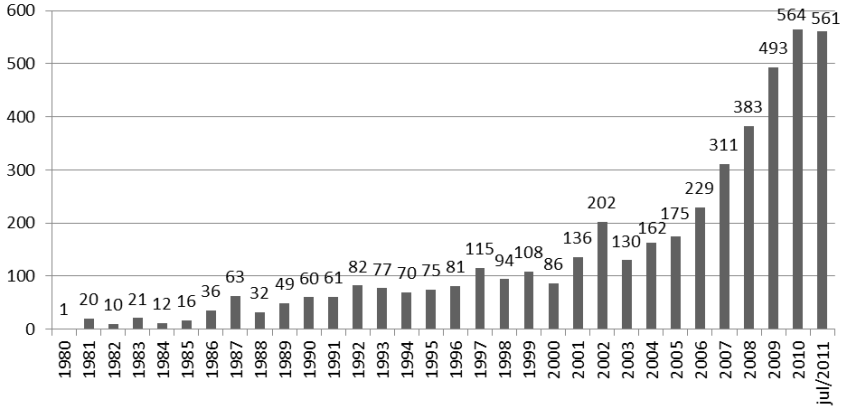
Conforme apresentado no estudo de Gaul e Gastes (2012 apud VASCONCELOS; MOTA, 2014), o AHP tem sido aplicado a numerosos estudos nos últimos anos (Figura 7). Saaty (2008) elenca diversas situações em que o método de análise hierárquica foi utilizado na administração pública, no setor empresarial e em atividades sociais:

- A Comissão Reguladora Nuclear (NRC) dos Estados Unidos da América (EUA) possui mais de 35 membros e apresentava dificuldades para atingir o consenso nas tomadas de decisão. A Comissão fez uso do AHP para priorizar as exigências de tecnologias da informação (TI). Como resultado, a NRC conseguiu alocar os recursos da área de TI e reduziu o tempo de decisão de 15-20 reuniões para apenas algumas;
- O Departamento de Defesa dos EUA utiliza o AHP frequentemente para destinar os recursos em meio às atividades diversas;
- No ano de 1986, o Instituto de Estudos Estratégicos em Pretória utilizou o método AHP para analisar o conflito na África do Sul

e recomendou ações como a libertação de Nelson Mandela, o fim do Apartheid e a concessão da igualdade de direitos para a maioria plena.

- A British Airways, em 1998, escolheu o fornecedor do sistema de entretenimento de toda a sua frota de aviões através do AHP;
- Em 1999, a Ford Motor Company usou o AHP para estabelecer prioridades dentre os critérios que melhoram a satisfação dos clientes;
- No ano de 2001, após o terremoto que devastou a cidade de Adapazari, na Turquia, o AHP foi utilizado para determinar o melhor local para realocar a população;

Figura 7 - Número de artigos produzidos por ano que abordam o método AHP, conforme pesquisa no banco de *Science Direct*



Fonte: Gaul e Gastes (2012) apud Vasconcelos (2014)

Nas áreas de transporte e meio ambiente, identificou-se a ampla utilização do Processo Analítico Hierárquico em diversas referências bibliográficas. Estudos de mapeamento de áreas de risco à inundação e movimentos de massa foram realizados por Rosa *et al.* (2008); Monguilhott (2008); Yahaya (2010); Kayastha *et al.* (2012); Grassi *et al.* (2013); Papaioannou *et al.* (2013); Siddayao *et al.* (2014) e Ouma, Tateishi (2014). No âmbito da priorização de investimentos rodoviários e avaliação de alternativas de traçado de rodovias, podem-se citar os trabalhos de Palhares (1999); Lisboa (2002); Lisboa, Waisman (2007);

Gonzalez (2012); Effat, Hassan (2013) e Bianco (2016). Um estudo de vulnerabilidade do sistema de transporte rodoviário aos desastres meteorológicos foi realizado por Yang *et al.* no ano de 2013, já a avaliação de impacto ambiental foi tema do trabalho de Ramanathan (1999).

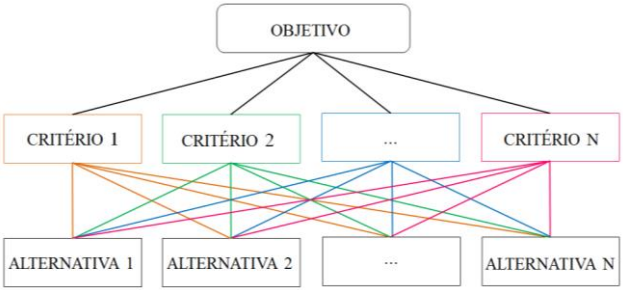
3.3.1.2 Estruturação do Processo Analítico Hierárquico

A metodologia do AHP consiste em cinco etapas: (i) subdivisão do problema de decisão em seus fatores componentes; (ii) hierarquização destes fatores; (iii) determinação da importância relativa de cada fator através da atribuição de valores numéricos; (iv) elaboração da matriz de comparação; e (v) cálculo do autovetor normalizado com o respectivo peso de cada fator (SAATY; VARGAS, 2012).

- Hierarquização dos fatores

A primeira etapa do método é caracterizada pela decomposição do problema de decisão em níveis de acordo com as suas características comuns, resultando na formação de um modelo hierárquico. O nível mais alto é o objetivo principal do problema. Os níveis intermediários correspondem aos critérios, enquanto o nível mais baixo contém as alternativas do processo de decisão (Figura 8). A finalidade desta etapa consiste em fracionar um problema complexo em partes mais simples, visando facilitar o processo de decisão. A estruturação da hierarquia, também chamada de modelagem do problema, constitui parte fundamental do método AHP. Para Ramanathan (1999), esta etapa pode ser considerada a mais criativa e importante do processo de decisão, uma vez que os critérios e alternativas adotados representam fatores decisivos do problema. Deste modo, o estabelecimento indevido de critérios podem originar incoerências no julgamento.

Figura 8 - Estrutura do AHP



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

- Julgamentos comparativos

Posteriormente à hierarquização dos fatores, deve-se realizar o julgamento comparativo, par a par, entre os elementos de um determinado nível hierárquico. Os critérios são julgados quanto à importância de um em relação a outro. Para a realização das comparações par a par, utiliza-se a Escala Fundamental proposta por Saaty (1980), apresentada no Quadro 1.

Quadro 1 - Escala fundamental proposta por Saaty

Valor	Definição	Explicação
1	Igualmente importante	Os dois critérios são igualmente importantes
3	Um pouco mais importante	A análise e a experiência mostram que um critério é ligeiramente mais importante que o outro
5	Muito mais importante	A análise e a experiência mostram que um critério é claramente mais importante que o outro

Quadro 1 - Escala fundamental proposta por Saaty

Valor	Definição	Explicação
7	Fortemente mais importante	A análise e a experiência mostram que um critério é predominante para o objetivo
9	Extremamente mais importante	Sem qualquer dúvida um dos critérios é extremamente predominante para o objetivo
2,4,6,8	Valores intermediários	Também podem ser utilizados

Fonte: Adaptado de Saaty (1980)

A partir das preferências do decisor, elabora-se uma matriz de julgamento, usualmente conhecida como matriz de comparações par a par, denotada como A (Figura 9). Trata-se de uma matriz quadrada de ordem n, na qual n é o número de critérios comparados. Assim, o valor a_{ij} do vetor linha da matriz representa a importância relativa do critério a_i (da linha) sobre o critério a_j (da coluna). Nos casos em que o elemento a_i tiver maior importância que o a_j, deve-se inserir valores de 2 a 9, mas se a_i for menos importante que a_j, os valores inseridos devem ser inversos a estes números (1/2, 1/3,..., 1/9). A diagonal da matriz de comparações assume valores iguais a 1, uma vez que este valor, segundo a Escala Fundamental, representa a não dominância de um critério sobre o outro.

Figura 9 - Estrutura da matriz de comparações

$$A = \begin{pmatrix} 1 & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & 1 \end{pmatrix}$$

Fonte: elaborado pela autora (2016)

- Síntese das prioridades e consistência das comparações

Esta etapa compreende o procedimento de análise quanto à consistência dos julgamentos e preferências do decisor na matriz de comparações, a fim de verificar se o problema está bem estruturado. O procedimento é realizado através do cálculo da razão de consistência (RC). Para a estimativa do RC deve-se obter o índice de consistência (IC) e o índice randômico (IR), conforme a Equação 1.

$$RC = \frac{IC}{IR} \qquad \text{Equação 1}$$

O índice de consistência demonstra o quanto o autovalor máximo (λmáx) da matriz de comparações está afastado do valor esperado. Para o cálculo do IC (Equação 5), deve-se, primeiramente, estimar os valores do autovetor (Aw) e do autovalor máximo da matriz (Equações 2, 3 e 4).

$$Aw = \lambda_{máx} \qquad \text{Equação 2}$$

$$W_i = \frac{(\prod_{j=1}^{n} a_y)1_n}{\sum_{k=1}^{n}\left[\left(\prod_{j=1}^{n} a_y\right)1/n\right]} \qquad \text{Equação 3}$$

$$\lambda_{máx} = \frac{1}{n}\left(\frac{w'_1}{w_1} + \frac{w'_2}{w_2} + \cdots + \frac{w'_n}{w_n}\right) \qquad \text{Equação 4}$$

$$IC = \frac{(\lambda_{máx} - n)}{(n-1)} \qquad \text{Equação 5}$$

Posteriormente, deve-se obter o índice de aleatoriedade (IR), o qual é classificado em função do número de células (n) utilizadas na matriz de comparação. A Tabela 1 apresenta os valores de IR propostos por Saaty (1980).

Tabela 1 - Índice de Aleatoriedade (RI)

n	RI
1	0,00
2	0,00

Tabela 1 – Índice de Aleatoriedade (RI)

n	RI
3	0,58
4	0,90
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,45
10	1,49
11	1,51
12	1,48

Fonte: Adaptado de Saaty (1980)

A matriz que possui RC menor que 0,10 apresenta todos os julgamentos coerentes entre si, aquelas que possuem valores de RC entre 0,10 e 0,20 são consideradas inconsistentes, enquanto as matrizes de RC maior que 0,20 são extremamente inconsistentes (SAATY, 1980).

Salienta-se, que todo o processo metodológico supracitado é implementado pelo *software Expert Choice 11*, o qual provê a simplificação do processo de avaliação e a execução das funções matemáticas e dos índices de consistência.

3.3.1.3 Aspectos positivos e negativos do AHP

Por ter sido amplamente utilizado desde a década de 1980, o AHP passou a ser objeto de críticas. O Quadro 2 reúne alguns dos aspectos positivos e negativos do método.

Quadro 2 - Aspectos positivos e negativos do AHP

Aspectos Positivos	Aspectos Negativos
• Modelo flexível e de fácil entendimento; • Pode ser utilizado para uma gama de problemas não estruturados; • Permite checar a consistência dos pesos atribuídos; • A análise de sensibilidade possibilita o teste dos resultados alcançados; • Os problemas podem envolver variáveis qualitativas e quantitativas; • Reflete o comportamento da mente humana em diferenciar elementos de um sistema em níveis diversos e agrupá-los; • Permite o aperfeiçoamento da definição de um problema, de forma a melhorar o entendimento e os julgamentos pessoais através da repetição; • A representação hierárquica de um problema permite descrever como as mudanças em prioridades nos níveis mais altos afetam a prioridade naqueles mais baixos, • O resultado representa a síntese derivada de julgamentos diversos.	• Possibilidade de gerar um número de comparações muito altas; • O AHP incorpora julgamentos e valores pessoais na priorização dos níveis mais altos da hierarquia, com a possibilidade de respostas não coerentes; • Uma vez que não há uma base teórica para o processo de hierarquização, os decisores, quando deparados com problemas idênticos, podem estruturar a hierarquia de maneira diferente, o que resulta em soluções divergentes; • Limite aconselhável de no máximo nove elementos para o processo comparativo; • A conversão da escala verbal para a escala numérica pode alterar de maneira significativa o resultado.

Fonte: Adaptado de Saaty (1990); Boas, (s/d) e Leite, Freitas (2012)

3.3.2 MACBETH

O método multicritério MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Category Based Evaluation Technique* - Medir a Atratividade por uma Técnica de Avaliação Baseada em Categorias) foi desenvolvido por Carlos Bana e Costa e Jean-Claude Vansnisck, na década de 1990 (COSTA; VANSNICK, 1997). Segundo Bana e Costa *et al.* (2013), o MACBETH se diferencia dos demais métodos multicritérios, pois trabalha com a ponderação dos critérios e a avaliação das opções em julgamentos qualitativos através das diferenças de atratividade. Trata-se de um processo interativo, onde após a elaboração dos julgamentos sobre as diferenças de atratividade, é elaborada uma escala cardinal de valor sobre o grupo de alternativas. Ao final, o método sugere um determinado peso para os critérios fundamentado na otimização de uma função. A seguir é realizada uma descrição do método MACBETH, baseada em Bana e Costa *et al.* (2013) e Gomes *et al*. (2006).

3.3.2.1 Descrição do método

Segundo Bana e Costa *et al*. (2013), o método MACBETH é constituído por quatro etapas: análise do contexto, estruturação do problema, desenvolvimento do modelo e análise da sensibilidade (Figura 10).

Figura 10 - Etapas do método MACBETH

Fonte: Bana e Costa *et al.* (2013)

Na avaliação intracritério, as preferências são representadas por uma função v(x) – tal que satisfaça as condições de preferência estrita (1) e de indiferença (2):

$\forall$ x, y $\in$ X: [x é mais atrativa do que y (xPy) $\Leftrightarrow$ v(x) > v(y)] (1)
$\forall$ x, y $\in$ X: [x e y são igualmente atrativas (xIy) $\Leftrightarrow$ v(x) = v(y)] (2)

Dessa forma, é possível categorizar numericamente a diferença de atratividade através de um intervalo de números reais. Existem diversos procedimentos para obter a informação cardinal sobre o valor dos critérios. Bana e Costa *et al.* (2013) apresentam um modo simplificado, no qual seleciona-se duas alternativas de X e utiliza-se a diferença entre elas como referência de unidade de medida. O decisor deve indicar o número de vezes que a diferença entre x e y é maior ou menor (nos casos em que não seja igual) que a diferença de referência. Salienta-se que a mudança da informação ordinal para a cardinal é facilitada através de um questionamento não numérico, de comparação pareada dos critérios em termos qualitativos. O julgamento através da escala ordinal apresenta as correspondências de diferença de atratividade categorizada em: diferença de atratividade muito fraca, diferença de atratividade moderada, diferença de atratividade forte, diferença de atratividade muito forte e diferença de atratividade extrema.

A partir da comparação par a par da atratividade das alternativas, os julgamentos qualitativos são atribuídos aos critérios. Posteriormente, são elaboradas matrizes de juízos de valor (Quadro 3).

Quadro 3 - Matriz de juízos de valor - MACBETH

	Critério 1	**Critério 2**	**Critério 3**	**Critério 4**	**Critério 5**
Critério 1	Nula	Fraca	?	?	Muito forte
Critério 2		Nula	Muito fraca	Forte	Forte
Critério 3	?		Nula	Moderada	Moderada
Critério 4	?			Nula	Fraca
Critério 5					Nula

Fonte: Adaptado de Costa et al. (2013)

Os resultados obtidos são introduzidos no *software* M-MACBETH. A partir destes valores o método MACBATH é executado. Primeiramente, o software faz a análise de coerência dos julgamentos e,

em caso de inconsistência, sugere como resolvê-la. Na sequência, é determinada uma escala de valor cardinal que represente os julgamentos de valor do decisor. Os pesos associados aos critérios são obtidos através da normalização da escala. Todo este processo é realizado através da resolução de quatro Problemas de Programação Linear (PPL). Maiores detalhes podem ser encontrados em Mello *et al*. (2001). A base teórica detalhada do método foi abordade em Costa, Corte e Vansnick (2005).

Salienta-se que os pesos sugeridos pelo MACBETH devem passar por uma etapa de avaliação junto ao decisor, o qual deve realizar uma análise de sensibilidade dos pesos propostos dentro dos intervalos definidos pelo método.

O método de decisão multicritério MACBETH tem sido aplicado em diversos setores. No âmbito do meio ambiente, pode-se citar os trabalhos de Prata Filho *et al*. (2002), Tôsto *et al.* (2010), Bana e Costa *et al*. (2013) e Rosa *et al*. (2012). Em estudos de rodovias, cita-se Jesus e Fontenele (2013).

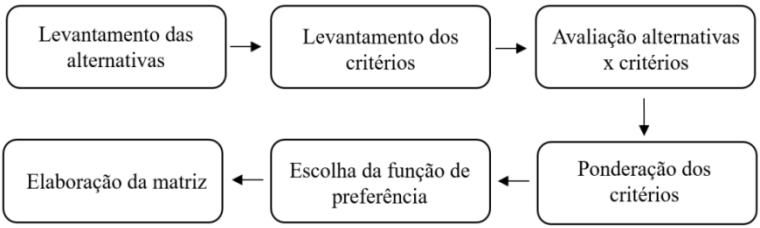
3.3.3 PROMETHEE

O método de decisão multicriterial PROMETHEE I (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evalutions*) foi desenvolvido pelo professor J.P. Brans, em 1982 (BRANS; MARESCHAL, 2005). Tal método fornece ao decisor uma alternativa preferencial a fim de tratar de problemas multicriteriais discretos – aqueles em que o conjunto de alternativas possíveis é finito. A seguir é realizada uma descrição do método PROMETHEE, baseada em Silva *et al*. (2013) e Egito *et al*. (2015).

3.3.3.1 Descrição do método

Inicialmente, deve-se realizar o levantamento das alternativas e critérios. Para cada critério é atribuído um peso, o qual indica a medida de importância relativa do critério (Figura 11).

Figura 11 - Etapas do processo de decisão do PROMETHEE



Fonte: Adaptado de Silva *et al.* (2013) e Egito *et al.* (2015)

Posteriormente, deve-se elaborar uma matriz de avaliação das alternativas relacionadas ao conjunto de critérios. Para a construção da matriz, uma função de preferência deve ser especificada para cada critério. A função fornece a intensidade de preferência de uma alternativa *a* sobre outra *b*, com relação a um determinado critério *j*, sendo representada por P_j (a,b). No método PROMETHEE, são consideradas seis possíveis comparações entre as alternativas *a* e *b*, conforme apresentado na Figura 12.

Figura 12 - Funções de preferência do método PROMETHEE

Tipo I: Usual	$g_j(a) - g_j(b) > 0$ $g_j(a) - g_j(b) \leq 0$	$P_j(a,b) = 1$ $P_j(a,b) = 0$
Tipo II: Formato U	$g_j(a) - g_j(b) > q$ $g_j(a) - g_j(b) \leq q$	$P_j(a,b) = 1$ $P_j(a,b) = 0$
Tipo III: Formato V	$g_j(a) - g_j(b) > p$ $g_j(a) - g_j(b) \leq p$ $g_j(a) - g_j(b) \leq 0$	$P_j(a,b) = 1$ $P_j(a,b) = [g_j(a) - g_j(b)]/p$ $P_j(a,b) = 0$
Tipo IV: Níveis	$\lvert g_j(a) - g_j(b)\rvert > p$ $q < \lvert g_j(a) - g_j(b)\rvert \leq p$ $\lvert g_j(a) - g_j(b)\rvert \leq q$	$P_j(a,b) = 1$ $P_j(a,b) = 1/2$ $P_j(a,b) = 0$
Tipo V: Linear	$\lvert g_j(a) - g_j(b)\rvert > p$ $q < \lvert g_j(a) - g_j(b)\rvert \leq p$ $\lvert g_j(a) - g_j(b)\rvert \leq q$	$P_j(a,b) = 1$ $P_j(a,b) = [\lvert g_j(a) - g_j(b)\rvert - q]/(p-q)$ $P_j(a,b) = 0$
Tipo VI: Gaussiana	$g_j(a) - g_j(b) > 0$ $g_j(a) - g_j(b) \leq 0$	*A preferência aumenta de acordo com uma distribuição normal*

Fonte: Silva *et al*. (2014) apud Almeida e Costa (2002)

Em seguida, para todos os pares de alternativas, deve-se calcular o índice de preferência considerando os pesos atribuídos a cada

critério. O índice é obtido pela agregação das intensidades de preferência, ou seja, pela soma ponderada pelos pesos atribuídos aos critérios (Equações 6 e 7).

$$P\ (a,b) = \frac{1}{w}\sum_{j=1}^{n} w_j P_j(a,b) \qquad \text{Equação 6}$$

$$W = \sum_{j=1}^{n} w_j \qquad \text{Equação 7}$$

Onde:
w_j é o peso do critério j; e
n é o número de critérios.

Por último, deve-se explorar as relações entre as alternativas. A partir dos índices de preferências, são calculados os fluxos de importância positivo $Q^{+}(a)$ e negativo $Q^{-}(a)$ (Equações 8 e 9). O primeiro representa o quanto uma alternativa *a* sobreclassifica todas as outras, desse modo, quanto maior o fluxo positivo de uma alternativa, melhor ela é. Já o fluxo negativo, expressa o quanto uma alternativa *a* é sobreclassificada pelas demais, ou seja, quanto menor o $Q^{-}(a)$ de uma alternativa, melhor ela é.

$$Q^{+}(a) = \sum_{a \neq b} \frac{P(a,b)}{m-1} \qquad \text{Equação 8}$$

$$Q^{-}(a) = \sum_{a \neq b} \frac{P(b,a)}{m-1} \qquad \text{Equação 9}$$

Onde *m* representa o número de alternativas.

Desde a sua elaboração, o modelo inicial do PROMETHEE vem sendo aprimorado. Hoje a família de métodos conta com PROMETHEE I, II, III, IV, V, VI e Gaia. Existem na literatura diversas aplicações deste método nos mais variados setores. No âmbito do meio ambiente, citam-se os trabalhos de Egito *et al.* (2015), Marcionilio & Soares (2014) e Carvalho *et al*. (2014). No setor de rodovias, destaca-se o estudo de Albuquerque e Nuñes (2010).

3.3.4 Seleção do método multicritério

Por considerar que o AHP fornece um procedimento compreensivo e racional na modelagem de um problema de decisão e pela facilidade da resolução das funções matemáticas por meio do *software Expert Choice 11*, optou-se pela utilização deste modelo no presente estudo. Ademais, a diversa gama de estudos utilizando o AHP, assim como os aspectos positivos apresentados no Quadro 2, contribuíram para esta seleção.

4. METODOLOGIA

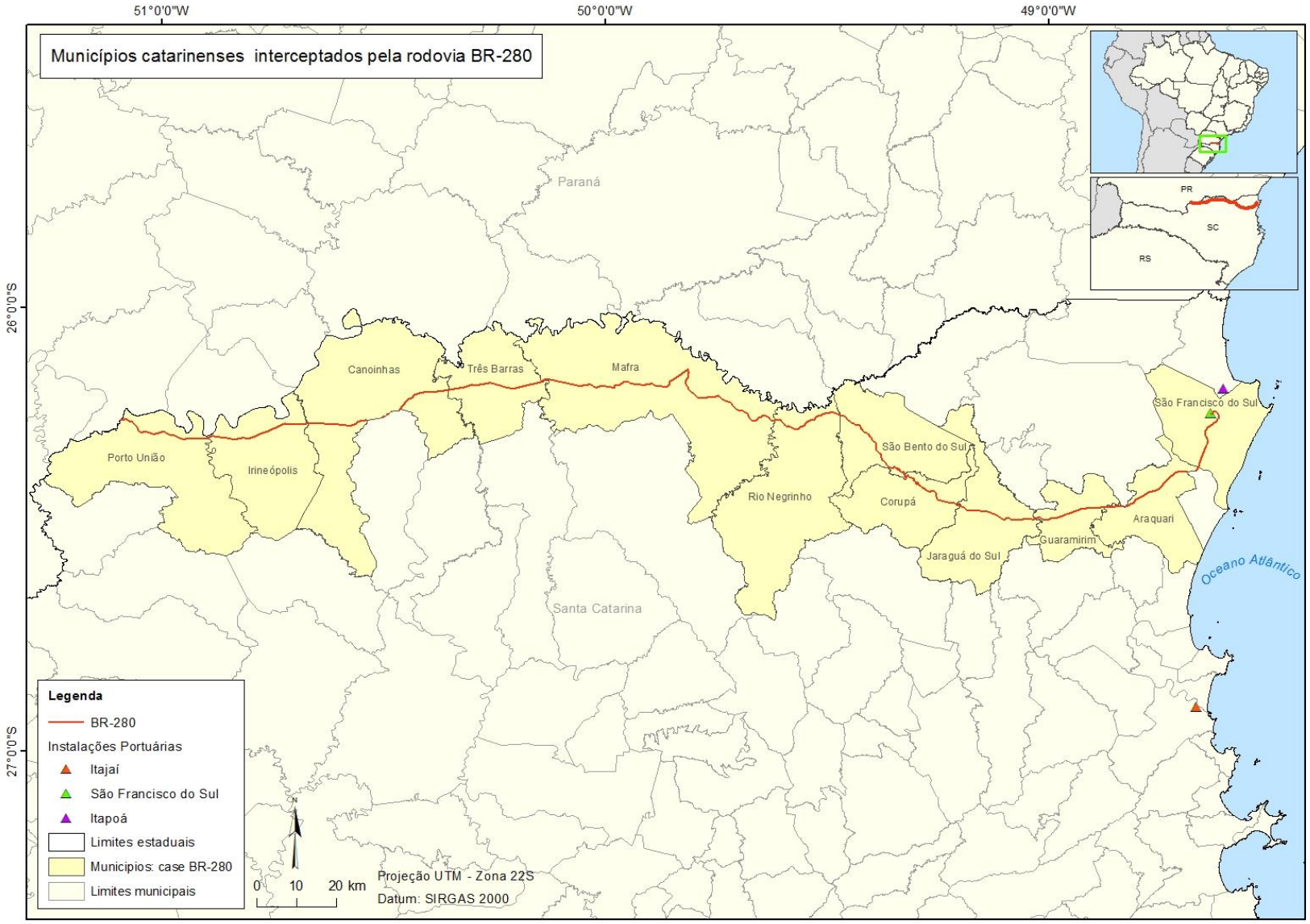
4.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

A rodovia BR-280, em Santa Catarina, liga o litoral norte com o oeste do estado, totalizando 308,7 km. A BR-280 inicia seu traçado no município de São Francisco do Sul, passando pelos muninípios de Araquari, Guaramirim, Jaraguá do Sul, Corupá, São Bento do Sul, Rio Negrinho, Mafra, Três Barras, Canoinhas e Irineópolis, e se encerra no município de Porto União (Figura 13).

Tal rodovia é de significativa importância no contexto socioeconômico para o estado de Santa Catarina. Uma parcela expressiva dos municípios supracitados possui a base de sua economia voltada para a indústria. São Bento do Sul e Rio Negrinho são as cidades com maior predominância da produção moveleira (FIESC, 2014), já Mafra e Canoinhas de destacam pela suinocultura (SUINOCULTURA INDUSTRIAL, 2003). Desta forma, a rodovia BR-280 é um dos principais corredores de escoamento da produção local, especialmente das regiões oeste e norte de Santa Catarina em direção aos portos de São Francisco do Sul, Itajaí e Itapoá.

Contudo, diversos trechos da BR-280 têm sido afetados constantemente pelas chuvas intensas, ocasionando prejuízos socioeconômicos, comprometendo a logística de transporte no escoamento de bens e produtos da região, afetando a população que necessita da rodovia para seus deslocamentos diários e acarretando desastres.

Figura 13 - Mapa de localização da rodovia BR-280 em Santa Catarina

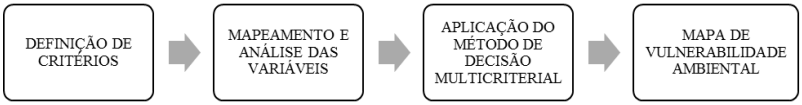


Fonte: Elaborado pela autora (2017)

4.2 MAPA DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL AOS DESASTRES NATURAIS ATRAVÉS DO MÉTODO AHP

Para a elaboração do diagnóstico das áreas mais ambientalmente vulneráveis aos desastres naturais, um fluxograma metodológico foi idealizado, contemplando quatro etapas (Figura 14).

Figura 14 - Fluxograma da metodologia aplicada



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

A fim de se obter o grau de relevância e os pesos de cada critério analisado, fez-se uso da metodologia AHP proposta por Saaty (1990), seguindo a estruturação da hierarquia de decisão, construção da matriz de comparação pareada, priorização das alternativas e definição das classes de vulnerabilidade.

4.3 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS E JUSTIFICATIVA

A proposta de construção de indicadores faz-se necessária para a elaboração do diagnóstico e mapeamento da vulnerabilidade. Para Lima *et al.* (2000 apud SANTOS, 2014), a vulnerabilidade de um geossistema pode ser avaliada a partir das características dos meios físicos (solo, rocha, relevo, clima e recursos hídricos), bióticos (tipo de vegetação) e antrópico (uso e ocupação da terra), que tornam o relevo mais ou menos instável ou sujeito a processos erosivos.

Para o presente estudo, adaptou-se a metodologia empregada por Santos (2014). A autora, em sua monografia intitulada "Geoprocessamento aplicado ao estudo da vulnerabilidade ambiental da Serra da Calçada – MG", elaborou o mapa de vulnerabilidade ambiental a partir da sobreposição dos mapas de vulnerabilidade natural e risco antrópico.

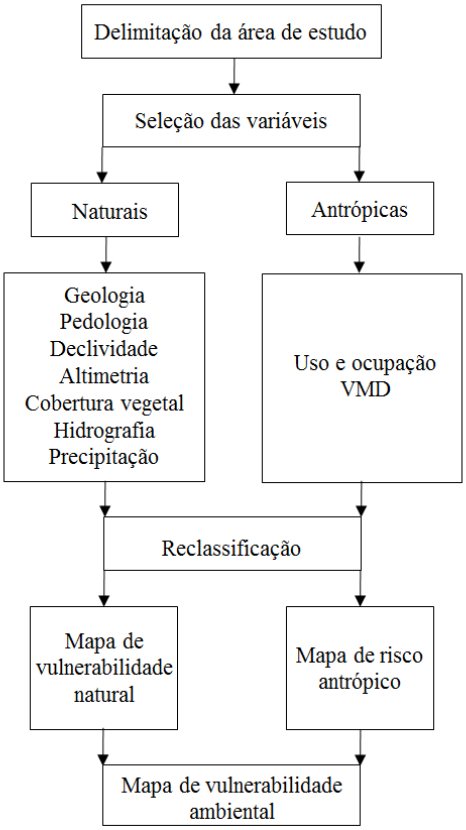
> "Para Klais *et al* (2012), a vulnerabilidade natural refere-se à pré-disposição do ambiente de reagir a fatores naturais relacionados com a morfogênese e a pedogênese. Já a vulnerabilidade

> ambiental é definida como qualquer susceptibilidade do ambiente a um impacto potencial provocado por um uso antrópico qualquer" (SANTOS, 2014).

Para a elaboração do mapa de vulnerabilidade natural, Santos (2014) utiliza as variáveis: geologia, pedologia, geomorfologia, declividade, altimetria, cobertura vegetal e hidrografia. Acrescentou-se a precipitação como um indicador considerado relevante para discriminar as áreas de fragilidade natural, pois a mesma está diretamente relacionada à ocorrência de desastres em trechos da BR-280/SC e há registros de que as mudanças climáticas têm intensificado as chuvas na região.

A construção do mapa de risco antrópico, também foi baseada na metodologia proposta por Santos (2014). A autora considera duas variáveis: uso e ocupação da terra e vias de acesso. Para caracterizar as vias de acesso no presente estudo, optou-se por utilizar o indicador Volume Médio Diário (VMD), o qual é conceituado como o volume ou tráfego registrado no período de um dia ou 24h. As etapas de trabalho estão representadas na Figura 15.

Figura 15 - Fluxograma da elaboração do mapa de vulnerabilidade ambiental



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

4.3.1 Geologia

A formação geológica exerce influência direta nos movimentos de massa. Em eventos de precipitação intensa, o solo absorve uma parcela da água, enquanto a outra parte escoa em forma de enxurrada na superfície do terreno. A parcela da água que se infiltra no solo se confronta com variados tipos de rocha. No entanto, quando estas rochas são impermeáveis, a água não encontra passagem no solo e se acumula em um único local. Desta forma, o solo saturado de umidade pode vir a

se romper, desencadeando os movimentos de massa nas encostas até base dos morros, ou, no caso do presente estudo, até a rodovia.

4.3.2 Pedologia

Da água que atinge a superfície do solo, parte é removida nas depressões do terreno, parte se infiltra e o restante escoa pela superfície do terreno. O escoamento da água que atinge a superfície do terreno tem início após a intensidade de precipitação superar a capacidade de infiltração do solo e depois de serem preenchidas as depressões armazenadoras da superfície. A textura e a estrutura de um solo, como sua constituição, granulometria, nível de coesão e estado de compactação; refletem diretamente na taxa de infiltração da água. Solos arenosos propiciam maior infiltração e percolação, e reduzem o escoamento superficial, por outro lado, os solos siltosos ou argilosos, bem como os solos compactados superficialmente, produzem maior escoamento superficial (BARBOSA JR., 2014).

4.3.3 Declividade

A declividade de um terreno exerce influência direta na velocidade de escoamento da água e na capacidade de armazenamento da água nos terrenos, uma vez que áreas com maiores declives apresentam menor capacidade de armazenamento superficial, comparado às áreas planas. Ademais, a declividade de um terreno define o grau de repouso, ou seja, o ângulo mais íngreme de um material granular solto em relação ao plano horizontal que se forma sem ocorrer deslizamento. Este ângulo varia de acordo com a morfologia do material do terreno; particulas esféricas e arredondadas tendem a suportar um ângulo bastante baixo, enquanto partículas irregulares e angulares podem ser empilhadas de forma íngreme sem torna-se instável (MONTGOMERY, 1992).

4.3.4 Altimetria

A altitude de um terreno está intimimamente relacionada à possibilidade da ocorrência de inundações no mesmo. De modo geral, quanto maior a altitude, menor a probabilidade de inundação para uma

determinada região devido à ação da Lei da Gravidade, a qual direciona o escoamento para as regiões mais baixas. Desse modo, as regiões mais baixas de uma determinada área apresentam uma tendência maior a sofrer com inundações.

4.3.5 Cobertura vegetal

A cobertura vegetal de um terreno exerce importante influência sobre a parcela da água de chuva que se transforma em escoamento superficial e sobre a velocidade com que esse escoamento atinge a rede de drenagem. No processo de infiltração, as raízes modificam a estrutura do solo, provocando fissuras que, juntamente com a redução da velocidade do escoamento superficial, favorecem a infiltração. Com o desmatamento, o escoamento superficial aumenta e se dará de forma mais rápida sobre um terreno menos permeável e menos rugoso, o que intensifica o processo de erosão (BARBOSA JR., 2014). Cada espécie de vegetação está associada a respectiva taxa de infiltração da água no solo. Ademais, a cobertura vegetal atual na contenção mecânica do solo, o sistema radicular das plantas une os grãos entre si e mantém a coesão do mesmo.

4.3.6 Hidrografia

Áreas próximas aos corpos d'água estão mais sujeitas às inundações, devido ao transbordamento das massas d'água no período de precipitações intensas.

4.3.7 Precipitação

A precipitação exerce influência direta nos movimentos de massa, uma vez que esta tende a interferir nas condições de estabilidade de encostas ao aumentar os teores de água dos terrenos, reduzindo sua resistência. Os limites de precipitação causadores de deslizamentos variam de acordo com cada região, devido a fatores como: geologia, topografia, intensidade pluviométrica, ocupação e interferência antrópica, dentre outros (TATIZANA *et al.*, 1987). Ademais, a precipitação intensa contribui para as inundações, principalmente em áreas urbanizadas, nas quais a taxa de infiltração da água tende a ser pequena.

4.3.8 Uso e ocupação da terra

Os diferentes usos e ocupações do solo alteram as características de permeabilidade de um terreno, sendo fatores preponderantes no processo de infiltração e escoamento da água. Em áreas urbanizadas, nas quais a cobertura do terreno é alterada, tem-se um aumento do volume de escoamento superficial e da vazão de pico. Ademais, o uso e a ocupação inadequados do solo podem gerar instabilidades nas encostas.

4.3.9 Volume Médio Diário

O Volume Médio Diário (VMD) é utilizado para avaliar a distribuição de tráfego, medir a demanda de uma via, entre outros. Uma vez que o VMD está associado à pressão antrópica sobre a rodovia, ponderou-se que o mesmo deve ser considerado um indicador para a vulnerabilidade. Ademais, a construção de rodovias em locais inadequados também contribui para a ocorrência de deslizamentos devido às vibrações provocadas pelo tráfego intenso, as quais propiciam instabilidade nas encostas.

4.4 MAPEAMENTO E ANÁLISE DAS VARIÁVEIS

Nesta seção, será apresentada a metodologia utilizada para o mapeamento das variáveis que contribuem para a vulnerabilidade ambiental da rodovia BR-280/SC, assim como sua divisão em classes. Dessa forma, foram elaborados os mapas temáticos para os indicadores supracitados, tendo como base as respectivas metodologias. Ainda, foram atribuídos pesos para cada subcritério das variáveis selecionadas, em uma escala de 1 à 10, na qual 10 representa o valor de maior influência quanto a vulnerabilidade e 1, o menor valor. Salienta-se que os pesos dos subcritérios foram definidos de acordo com duas classes de desastres: aqueles advindos de inundações, enxurradas e alagamentos; e os originados dos movimentos de massa e erosão. Essa divisão se mostrou necessária por considerar que alguns dos critérios possuem influências opostas de acordo com a classe do fenômeno.

Ademais, para o desenvolvimento do presente estudo, foi utilizada imagem de satélite a fim de caracterizar o ambiente quanto às suas diversas formas de uso e ocupação da terra. As imagens em alta resolução espacial são disponibilizadas por meio da interface do

software Google Earth Pro, através do qual é possível a elaboração de mapas com grande precisão e detalhamento. Utilizou-se imagem de satélite datada de 13 de dezembro de 2015. Somado a isso, fez-se necessário a utilização de outros dois diferentes *softwares*:

- *Expert Choice* para a obtenção da escala hierárquica dos critérios;
- ArcGIS para o georreferenciamento da imagem de satélite; manipulação das bases de dados disponíveis; elaboração dos mapas temáticos e aplicação da rotina para a composição dos mapas de vulnerabilidade natural, risco antrópico e vulnerabilidade ambiental.

O traçado linear da rodovia BR-280 tem como fonte a base de dados geográficos de rodovias do DNIT, disponibilizados pela instituição em 2015. Para a composição dos mapas, optou-se por um *buffer* linear de três quilômetros a partir da rodovia, devido à propriedade de liquefação do solo. Quando carregados, alguns tipos de solo tendem a sofrer repentinamente uma transição do estado sólido para o estado líquido. Dessa forma, as chamadas "corridas de lama" podem se deslocar a quilômetros de distância do local de origem.

4.4.1 Mapa hipsométrico

O mapa hipsométrico consiste na intepretação gráfica do relevo de uma região e representa o estudo da variação da elevação dos terrenos que compõem tal região, tendo como referência o nível médio do mar. A elaboração do mapa se procedeu a partir da rasterização do MDT, resolução espacial de 30 metros e datado do ano 2.000, disponibilizado pela Epagri. Na sequência, realizou-se a reclassificação das alturas, na qual as classes altimétricas foram separadas em intervalos de 100 metros, totalizando 10 classes. Salienta-se que a altitude exerce influência de maneira oposta nos casos de desastres ocasionados por movimentos de massa e erosão, àqueles que ocorrem por inundações, alagamentos e enxurradas. Sendo assim, os pesos atribuídos às classes de altitude foram aplicados conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Pesos relacionados às classes hipsométricas

Classe (m)	Peso atribuído	
	m/e*	i/a/e*
100 a 200	1	10
200 a 300	2	9
300 a 400	3	8
400 a 500	4	7
500 a 600	5	6
600 a 700	6	5
700 a 800	7	4
800 a 900	8	3
900 a 1.000	9	2
1.000 a 1.100	10	1

* movimento de massa e erosão

** inundação, alagamento e enxurrada

Fonte: Elaborado pela autora (2016)

4.4.2 Mapa de declividades

A declividade é a medida do grau de inclinação de um terreno em relação a um plano horizontal, podendo ser expressa em porcentagem ou em graus. O mapa elaborado consiste na representação das diferentes declividades encontradas na área de estudo. O mesmo foi obtido através da extração das declividades a partir do *raster* gerado do MDT supracitado, por meio da função *slope*. Dessa forma, as diferentes declividades foram classificadas de acordo com a divisão elaborada pela EMBRAPA (1979), apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação da declividade de um terreno

Declividade (%)	Discriminação
0 a 3	Relevo plano
3 a 8	Relevo suavemente ondulado
8 a 20	Relevo ondulado
20 a 45	Relevo fortemente ondulado
45 a 75	Relevo montanhoso
> 75	Relevo fortemente montanhoso

Fonte: EMBRAPA (1979)

Os pesos atribuídos para as diferentes classes de declividade são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Pesos relacionados às classes de declividade

Classe	Peso atribuído	
	m/e*	i/a/e*
Relevo plano	4	10
Relevo suavemente ondulado	6	8
Relevo ondulado	8	6
Relevo fortemente ondulado	10	4
Relevo montanhoso	10	4
Relevo fortemente montanhoso	10	4

* movimento de massa e erosão

** inundação, alagamento e enxurrada

Fonte: Elaborado pela autora (2016)

4.4.3 Mapa de uso e ocupação da terra

Para e elaboração do mapa de uso e ocupação da terra, foi realizada a interpretação supervisionada da imagem de satélite, adquirida através do *software Google Earth Pro*, datada de 13 de dezembro de 2015. Tal classificação é realizada por meio do reconhecimento de padrões e objetos homogêneos, baseada no conhecimento do analista da área de estudo mapeada. A etapa de pré-processamento da imagem de satélite é dada pelo georreferenciamento desta imagem. O georreferenciamento consiste na inserção de pontos de controle na imagem com coordenadas conhecidas e na execução de uma transformação polinomial das coordenadas. Para realizar a correção da posição da imagem, utilizou-se como pontos de controle objetos específicos identificados na imagem de satélite. Os pontos foram distribuídos de modo homogêneo pela imagem, com intuito de garantir o menor erro possível na correção geométrica.

Foram consideradas as principais classes de uso e ocupação da terra, que exercem influência direta na vulnerabilidade da via, de acordo com parâmetros como: o conhecimento do local de estudo; a diferenciação evidente entre as feições e a otimização de tempo com um número reduzido de feições a serem classificadas, devido à extensão abrangente da via. As classes foram agrupadas nas seguintes categorias temáticas:

a) Vegetação: o termo vegetação se refere ao conjunto dos vegetais próprios de um determinado local, composto por plantas de diferentes características. Todas as classes de cobertura vegetal identificadas na área de estudo estão incluídas nesta categoria.

b) Massas d'água: entende-se por massas d'água, também denominados corpos d'água, qualquer concentração relevante de água, podendo ser natural ou artificial, tais como: lagoas, rios, córregos e canais. Salienta-se que, no presente estudo, só foram consideradas as massas d'água mais abundantes, uma vez que a cor dos pixels dos rios identificados ao longo da rodovia BR-280/SC tende a propiciar erros durante a reclassificação, sendo indevidamente reconhecidos como solo exposto. Uma vez que o critério hidrografia apresenta-se detalhado na metodologia do estudo, fez-se desnecessário a realização de uma classificação mais criteriosa.

c) Agricultura e solo exposto: o conceito de solo exposto foi atribuído às áreas em que o solo está em processo de erosão e/ou sem proteção vegetal. Condição semelhante é verificada nos terrenos em que predomina a agricultura, ou seja, em terrenos nos quais o solo é utilizado para o cultivo de plantas. Neste estudo, optou-se por associar agricultura e solo exposto em somente uma categoria, pois as feições apresentadas na imagem de satélite, assim como as cores dos pixels, apresentam-se similares. Sendo assim, a associação ocorreu para que fossem evitados erros de classificação.

d) Área urbana: a área urbana é caracterizada por construções, arruamentos e intensa ocupação urbana.

Após a elaboração do mapa, utilizou-se a ferramenta do ArcGIS *"Export to KML"*, a qual converte os arquivos no formato *shapefile* (.shp) para o sistema do *Google Earth* (.KML). A partir deste procedimento, foi possível visualizar as classes definidas no mapa sobrepostas às imagens de satélite disponibilizadas através do *software*. Desse modo, ocorreu a validação da consistência da classificação desenvolvida.

Os pesos para as diferentes classes de uso e ocupação da terra foram atribuídos de acordo com a impermeabilização da cobertura do terreno, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Pesos relacionados às classes de uso e ocupação da terra

Classe	Peso atribuído	
	m/e*	i/a/e*
Massa d'água	4	6
Vegetação	6	4
Agricultura / Solo exposto	8	8
Área urbana	10	10

* movimento de massa e erosão

** inundação, alagamento e enxurrada

Fonte: Elaborado pela autora (2016)

4.4.4 Mapa pedológico

O mapa pedológico foi elaborado com base nas diferentes classes de solo que ocorrem na área de estudo. Foram utilizados os dados disponibilizados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), do ano de 2004.

Os pesos relacionados às classes (Tabela 6), para os fenômenos de inundação, alagamento e enxurrada, foram atribuídos de acordo com o estado de compactação da camada superficial do solo, uma vez que estas características possuem efeito direto sobre a parcela de água de infiltração. Já os pesos referentes à ocorrência de movimento de massa e erosão, refletem as características dos solos, como sua constituição, granulometria e nível de coesão, que tendem a favorecer tais fenômenos.

Tabela 6 - Pesos relacionados às classes de solo

Classe	Peso atribuído	
	m/e*	i/a/e*
Areias quartzosas marinhas	4	10
Cambissolo e Podzólico vermelho-amarelo	10	4
Dunas e areias das praias	4	10
Glei	4	10
Latossolo bruno/vermelho	8	8
Podzol	4	10
Solos aluviais	4	10

Tabela 6 – Pesos relacionados às classes de solo

Classe	Peso atribuído	
	m/e*	i/a/e*
Solos indiscriminados	4	10
Solos litólicos	10	4
Solos orgânicos	4	10
Terra bruna estruturada	8	8

* movimento de massa e erosão
** inundação, alagamento e enxurrada

Fonte: Elaborado pela autora (2016)

4.4.5 Mapa geológico

O mapa geológico foi elaborado com base nas diferentes classes de rochas que ocorrem na área de estudo. Para a construção da camada de geologia foram utilizados os dados da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), do ano de 1986.

As rochas são classificadas em três categorias, de acordo com suas características intrínsecas: ígneas (ou magmáticas), metamórficas ou sedimentares. As rochas ígneas são as rochas formadas a partir do resfriamento do magma, como o granito e o basalto. As rochas ígneas são bastante resistentes e de elevada dureza, não apresentando estratificações e matéria orgânica em sua composição. Já as rochas sedimentares são originadas pelo acúmulo de detritos, os quais podem ser orgânicos ou gerados por outras rochas. O argilito e folhelho são exemplos de rochas sedimentares. Um dos aspectos mais importantes desta classe de rochas é a estratificação, ou seja, a sua formação através de camadas. As rochas metamórficas, por sua vez, são constituídas a partir da deformação de outras rochas, magmáticas ou sedimentares, devido a alterações de condições ambientais, como temperatura e a pressão; é o caso do gnaisse, mármore e quartzito. As propriedades mecânicas das rochas metamórficas depende, principalmente, da sua xistosidade – achatamento e orientação dos grãos -, da composição mineralógica e da textura. As rochas metamórficas possuem maior densidade e são mais resistentes que as sedimentares originais, no entanto, são menos resistentes e mais deformáveis que as rochas ígneas.

Sendo assim, os pesos relacionados às classes (Tabela 7) foram atribuídos de acordo com a natureza geológica do terreno.

Tabela 7 - Pesos relacionados às classes de rochas

Classe	Peso atribuído	
	m/e*	i/a/e*
Botucatú	10	2
Campo Alegre, Formação Corupá	10	2
Porto Alegre, Formações Avenca Grande, São Miguel e Fazenda Uirapuru	10	2
Campo Mourão	10	2
Complexo Granulítico de Santa Catarina – Unidade de rochas orto e paraderivadas	10	2
Depósitos aluvionares	2	10
Depósitos litorâneos	2	10
Granito Corupá	10	2
Granito São Francisco do Sul	10	2
Irati	2	10
Palermo	10	2
Rio Bonito	8	8
Rio do Rasto	10	2
Serra Alta	10	2
Serra Geral	10	2

* movimento de massa e erosão
** inundação, alagamento e enxurrada

Fonte: Elaborado pela autora (2016)

4.4.6 Mapa hidrológico

O mapa hidrológico foi elaborado a partir dos dados disponibilizados pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS), referente ao ano de 2011.

Optou-se por não dividir o critério hidrologia em subcategorias, uma vez que a apenas o quantitativo dos rios foi suficiente para o desenvolvimento do presente estudo.

4.4.7 Mapa de pluviometria

As informações pluviométricas foram disponibilizadas pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2016). Foram utilizados os históricos de precipitação das estações pluviométricas localizadas próximas à rodovia BR-280/SC e que possuíam dados consistentes para

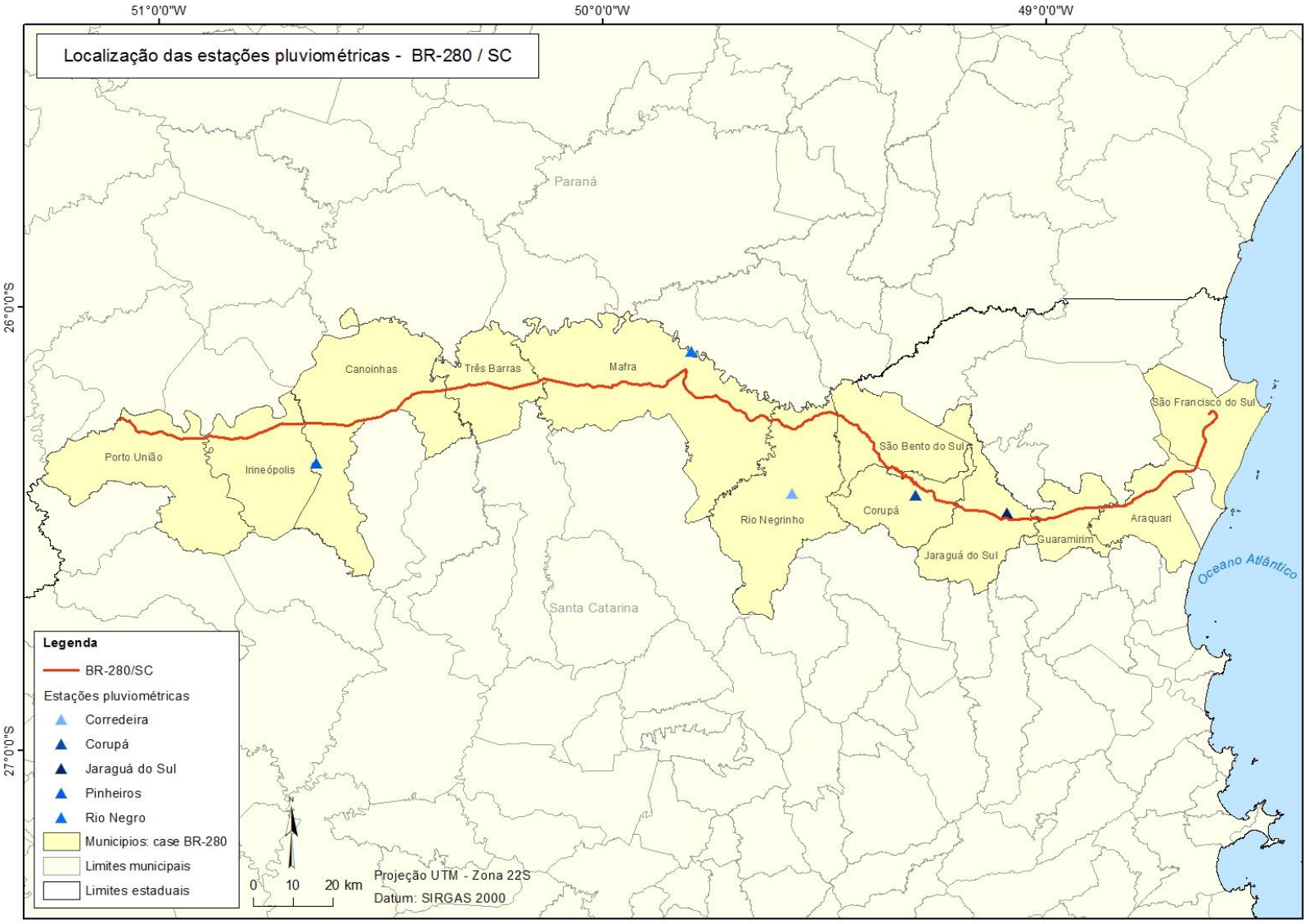
o período de 2005 a 2014. Salienta-se que foi estabelecido o uso de apenas 10 anos de dados pluviométricos devido às alterações nos regimes de chuva. Desta forma, as médias pluviométricas são mais representativas quanto ao real volume de chuvas ao qual a rodovia está sujeita, atualmente.

A Figura 16 apresenta a distribuição das cinco estações pluviométricas ao longo da rodovia, sendo estas:

- Estação pluviométrica CORREDEIRA: localizada no município de Rio Negrinho (SC), código 02649055, Latitude: 26°25’10” S, Longitude: 49°34’23” W, operada pela Águas Paraná, com média pluviométrica anual de 1458,7 mm e distante aproximadamente 16,3 km da rodovia;
- Estação pluviométrica CORUPÁ: localizada no município de Corupá (SC), código 02649013, Latitude: 26°25’26” S, Longitude: 49°17’33” W, operada pela EPAGRI, com média pluviométrica anual de 1913,3 mm e distante aproximadamente 1,9 km da rodovia;
- Estação pluviométrica JARAGUÁ DO SUL: localizada no município de Jaraguá do Sul (SC), código 02649037, Latitude: 26°27’51” S, Longitude: 49°5’12” W, operada pela EPAGRI, com média pluviométrica anual de 2349,6 mm e distante aproximadamente 1,4 km da rodovia;
- Estação pluviométrica PINHEIROS: localizada no município de Canoinhas (SC), código 02650018, Latitude: 26°21’55” S, Longitude: 50°38’44” W, operada pela Águas Paraná, com média pluviométrica anual de 1661,7 mm e distante aproximadamente 9,7 km da rodovia;
- Estação pluviométrica RIO NEGRO: localizada no município de Rio Negro (SC), código 026549021, Latitude: 26°6’0” S, Longitude: 49°48’0” W, operada pela Águas Paraná, com média pluviométrica anual de 1592,1 mm e distante aproximadamente 4,4 km da rodovia.

A partir das médias pluviométricas supracitadas foi elaborado o mapa de índices de chuva ao longo da rodovia BR-280/SC. A precipitação média anual para o local de estudo foi estimada através da ferramenta de interpolação IDW (*Inverse Distance Weighting*, em português Inverso da Distância Ponderada). A técnica de interpolação IDW consiste na combinação linear ponderada dos pontos de amostragem, ou seja, a média é ponderada entre o ponto base e o seu vizinho, de forma que a influência causada pelos vizinhos diminui na medida em que a distância aumenta. O IDW é um método simples e clássico, sendo recomendado para regiões com alta densidade de amostras (DEUS *et al*., 2010). Desta forma, considerou-se que este é adequado para o presente estudo.

Figura 16 - Distribuição das estações pluviométricas ao longo da BR-280/SC



Fonte: Elaborado pela autora (2017)

A precipitação exerce influência direta na ocorrência de desastres, maiores volumes de chuva estão diretamente relacionados aos incidentes como movimentos de massa, inundações, alagamentos, erosão e enxurradas. Dessa forma, os pesos foram atribuídos em ordem crescente de acordo com o volume de precipitação anual, de modo que a classe com o valor mais representativo, 2.174 mm a 2.350 mm, foi a que recebeu o maior peso, conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 - Pesos atribuídos às classes de precipitação (mm)

Classe (mm)	Peso atribuído	
	m/e*	i/a/e*
1.559 a 1.708	6	6
1.709 a 1.841	7	7
1.842 a 1.993	8	8
1.994 a 2.173	9	9
2.174 a 2.350	10	10

* movimento de massa e erosão

** inundação, alagamento e enxurrada

Fonte: Elaborado pela autora (2016)

4.4.8 Mapa de cobertura vegetal

O mapa de cobertura vegetal foi elaborado com base nas diferentes classes de vegetação que ocorrem na área de estudo. Foram utilizados os dados das regiões fitoecológicas de Santa Catarina, que foram gerados pelo Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina (IFFSC, 2016), a partir da digitalização do mapa original elaborado por Klein (1978).

Os pesos relacionados às classes (Tabela 9) foram atribuídos de acordo com a densidade de árvores referente a cada unidade de vegetação, dado que uma cobertura vegetal densa promove maior infiltração da água, retira a umidade do solo através da evapotranspiração, assim como previne a compactação do solo. A vegetação litorânea, como exceção, recebeu o menor peso, uma vez que a areia, solo característico dessa cobertura, faz com que a infiltração da água seja praticamente total e instantânea.

Tabela 9 - Pesos atribuídos às classes de cobertura vegetal

Classe	Peso atribuído	
	m/e*	i/a/e*
Campos com capões, florestas ciliares e bosques de pinheiros	6	6
Campos de inundações dos rios Negro e Iguaçu	7	7
Floresta Nebular	4	4
Floresta ombrófila densa	2	2
Floresta ombrófila mista	3	3
Vegetação litorânea	1	1

* movimento de massa e erosão
** inundação, alagamento e enxurrada

Fonte: Elaborado pela autora (2016)

4.4.9 Mapa de Volume Médio Diário (MVD)

O mapa de Volume Médio Diário foi elaborado com base nas classes de volume de tráfego que ocorrem em diferentes trechos da rodovia BR-280, em Santa Catarina. Foram utilizados os dados disponibilizados pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, referente ao ano de 2009 (DNIT, 2009).

O tráfego intenso de veículos sobrecarrega a infraestrutura rodoviária. Desta forma, os pesos foram atribuídos em ordem crescente de acordo com o volume de tráfego, de modo que a classe com o valor mais representativo, 21.750 veículos/dia, foi a que recebeu o maior peso, conforme apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 - Pesos relacionados às classes de VMD

Classe (veículos/dia)	Peso atribuído	
	m/e*	i/a/e*
3.318 a 4.244	2	2
5.190 a 6.080	4	4
7.090 a 7.170	6	6
9.080 a 10.860	7	7
13.180	9	9
21.750	10	10

* movimento de massa e erosão ** inundação, alagamento e enxurrada

Fonte: Elaborado pela autora (2016)

4.5 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE DECISÃO MULTICRITERIAL

O mapa da vulnerabilidade ambiental aos desastres naturais será o produto da sobreposição dos mapas de vulnerabilidade natural e risco antrópico, obtidos por meio do cruzamento espacial das nove variáveis apresentadas nos mapas temáticos supracitados e envolverá duas etapas distintas de trabalho: a fase teórica, na qual são definidos os critérios de cruzamento, e a fase operacional, onde será realizado o cruzamento dos mapas temáticos a partir da ferramenta de álgebra de mapas do ArcGIS.

4.5.1 Fase teórica

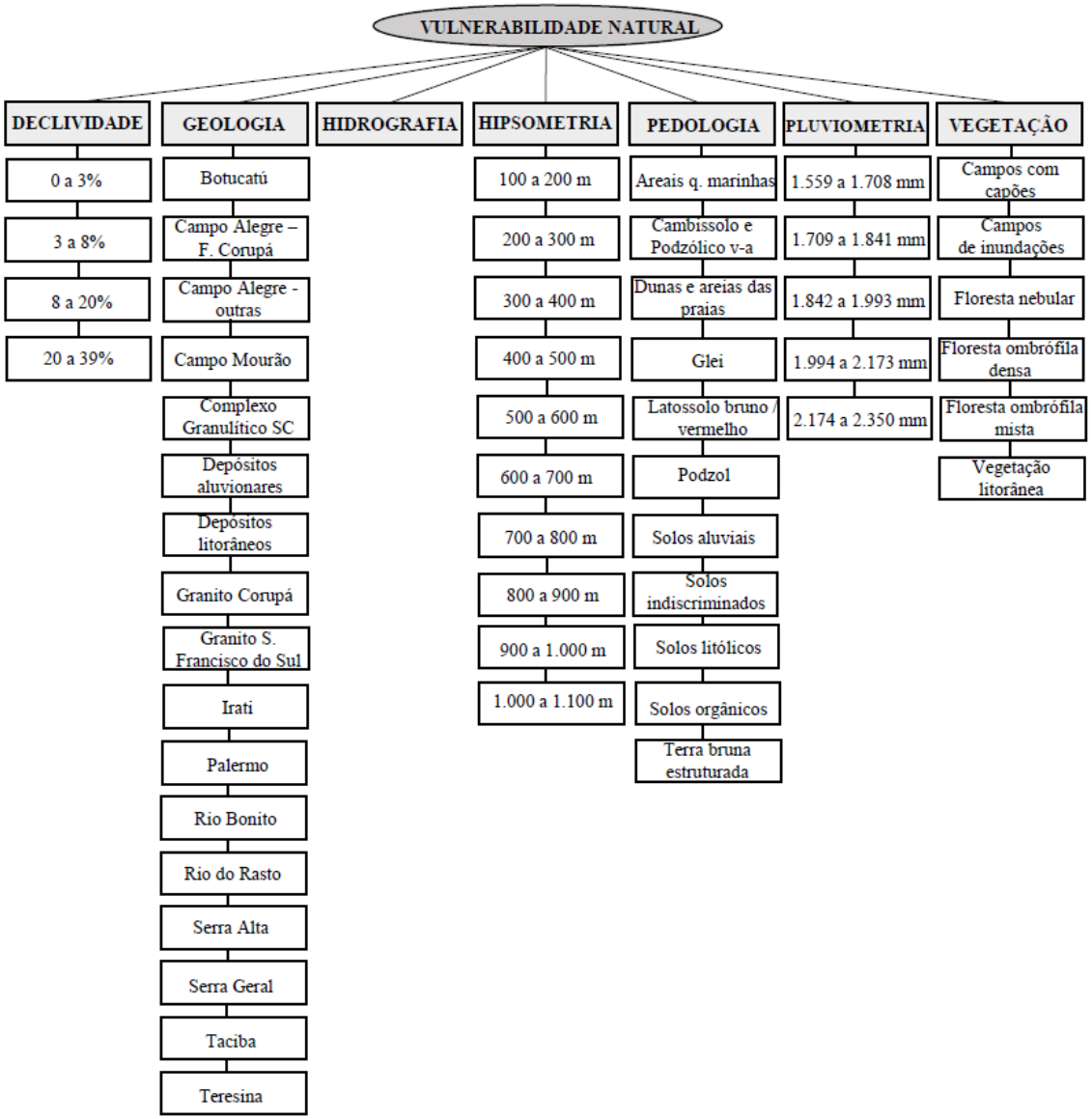
A primeira etapa consiste na estruturação do problema de forma hierárquica. No topo da escala hierárquica, encontra-se o objetivo e resultado do estudo, no nível imediatamente inferior constam os critérios selecionados para a análise, e, por último, os subcritérios que são as respectivas classificações de cada critério. A estrutura hierárquica de parte do problema é apresentada na Figura 16.

De modo a definir a importância relativa de cada critério no que tange a vulnerabilidade ambiental aos desastres naturais, realizou-se a comparação dois-a-dois destes por meio da utilização da escala proposta por Saaty (Quadro 1) na qual o valor 1 equivale ao mínimo e o valor 9, o máximo de importância de uma variável sobre a outra.

Desta forma, o julgamento foi realizado por um conjunto de especialistas. O questionário aplicado e as respectivas respostas de cada avaliador são apresentados no Apêndice I.

Após a média do julgamento dos elementos, tem-se a matriz de comparação apresentada na Tabela 11.

Figura 17 - Estrutura hierárquica relativa à vulnerabilidade natural



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Tabela 11 - Matriz de comparação pareada

Critérios	Altitude	Declividade	Solos	Geologia	Precipitação	Hidrografia	Vegetação
Altitude	1	1/8	1/8	1/7	1/6	1/9	1/7
Declividade	8	1	1/4	1/3	1/2	1/4	1/4
Solos	8	4	1	1	1	1/2	1/2
Geologia	7	3	1	1	1	1/2	1/2
Precipitação	6	2	1	1	1	1/4	1/5
Hidrografia	9	4	2	2	4	1	1/2
Vegetação	7	4	2	2	5	2	1

Fonte: Elaborado pela autora (2016)

A interpretação da matriz procede-se da seguinte maneira: tomando como exemplo a comparação das variáveis vegetação e altitude, tem-se, de acordo com o Quadro 1 de Saaty, que a vegetação apresenta uma importância grande sobre a altitude.

As comparações pareadas fornecem pesos para cada alternativa, dentro de cada critério, após comparações recíprocas. Tais pesos são obtidos por meio da estimativa do auto vetor principal de cada matriz quadrada, segundo a metodologia multicritério AHP. Os pesos obtidos com o auxílio do *software Expert Choice 11* são apresentados na Tabela 12. Quanto à ordem de importância das variáveis, obteve-se em primeiro lugar a vegetação (29,9%), seguido pela precipitação (23,9%), solos (14,3%), geologia (13,2%), hidrografia (10,0%), declividade (6,6%) e altitude (2%).

Tabela 12 - Pesos para a elaboração do mapa de vulnerabilidade ambiental

Indicador	Peso da classe	Variável
Altitude	0,020	X_1
Declividade	0,066	X_2
Solos	0,143	X_3
Geologia	0,132	X_4
Precipitação	0,239	X_5
Hidrografia	0,100	X_6
Vegetação	0,299	X_7

Fonte: Elaborado pela autora (2016)

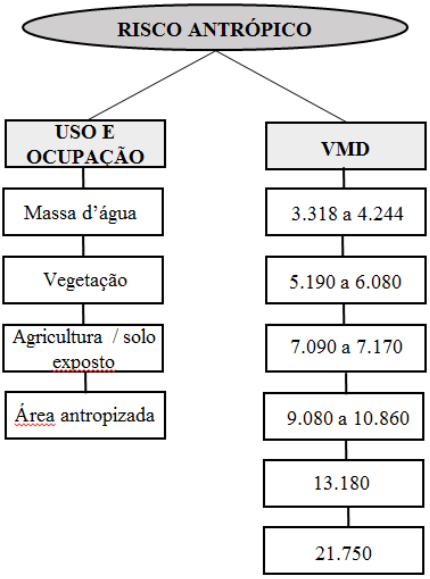
Em relação à hierarquização das condicionantes do mapa de risco antrópico (Figura 18), a importância de cada critério não foi estimada através da metodologia AHP, a qual necessita ao menos três critérios para a realização da comparação pareada. Neste contexto, os pesos das classes foram obtidos através do julgamento dos especialistas (Apêndice I), sendo atribuídos os pesos 0,6 para o indicador "uso e ocupação da terra" e 0,4 para "VMD", conforme apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 - Pesos para a elaboração do mapa de risco antrópico

Indicador	Peso da classe	Variável
Uso e ocupação da terra	0,600	X_8
VMD	0,400	X_9

Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Figura 18 - Estrutura hierárquica relativa ao risco antrópico

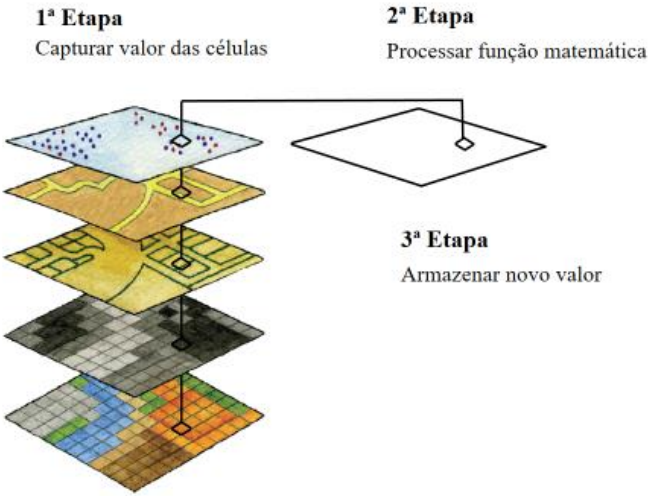


Fonte: Elaborado pela autora (2016)

4.5.2 Fase operacional

Posteriormente à definição dos pesos, procedeu-se a álgebra de mapas a fim de se obter os mapas de vulnerabilidade ambiental e risco antrópico. O processo é realizado por meio da ferramenta *Raster Calculator* do *software* ArcGIS, através de três etapas consecutivas, conforme apresentado na Figura 19.

Figura 19 - Fluxograma da álgebra de mapas



Fonte: Viconsaga (2017). Adaptado pela autora (2017)

A primeira etapa da álgebra de mapas consiste na captura dos valores das células contida no arquivo referente às classes dos mapas temáticos. Na sequência, esses valores são processados algebricamente tomando como base as equações abaixo, nas quais x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8 e x_9 são os pesos estatísticos previamente obtidos.

$$VN = x_1 Altitude + x_2 Declividade + x_3 Solos + x_4 Geologia + x_5 Precipitação + x_6 Hidrografia + x_7 Vegetação$$

$$RA = x_8 Uso\ e\ Ocupação + x_9 VMD$$

$$VA = VN + RA$$

Onde: VN é a vulnerabilidade natural, RA é o risco antrópico e VA é a vulnerabilidade ambiental aos desastres naturais

Por fim, na terceira etapa o valor é armazenado em um novo arquivo *raster*, o qual origina o mapa de vulnerabilidade ambiental aos desastres naturais. As novas células contêm valores que variam de 0 a 10, onde os valores mais próximos de zero são referentes às áreas com menor vulnerabilidade ambiental e os valores mais próximos de 10, com maior vulnerabilidade.

Por último, procede-se a construção do mapa semafórico através da reclassificação dos valores das células em cinco categorias hierárquicas: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta vulnerabilidade ambiental aos desastres naturais, conforme apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 - Reordenação das classes de vulnerabilidade

Valores das células	Classes
0 a 2	Muito baixa
2 a 4	Baixa
4 a 6	Média
6 a 8	Alta
8 a 10	Muito alta

Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Salienta-se que, de acordo com as diferentes pontuações atribuídas aos desastres oriundos de inundações, alagamentos e enxurradas e aos originados de movimentos de massa e erosão, foi necessário elaborar dois diferentes mapas de vulnerabilidade natural. Estes foram sobrepostos a fim de gerar um único mapa de VN, o qual está representado nas equações supracitadas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

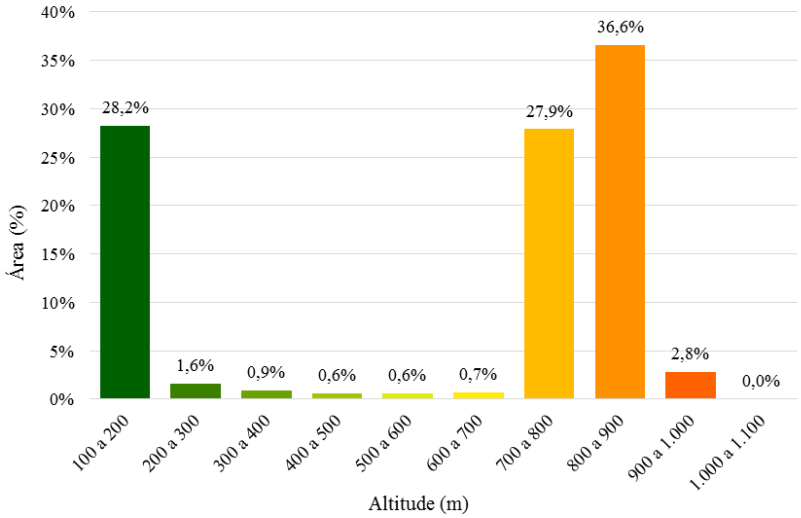
5.1 ANÁLISE DAS VARIÁVEIS

A análise dos mapas temáticos preliminares foi necessária para a atribuição dos pesos de cada uma das respectivas classes.

Para o mapa hipsométrico, a classe de altitude com maior expressão em área é a categoria de 800 a 900 metros, abrangendo 36,6%. As classes de 100 a 200 metros e 700 a 800 metros abrangem 28,2% e 27,9% do total, respectivamente. As demais classes são pouco representativas e juntas somam 7,3% do total da área de estudo (Figura 20).

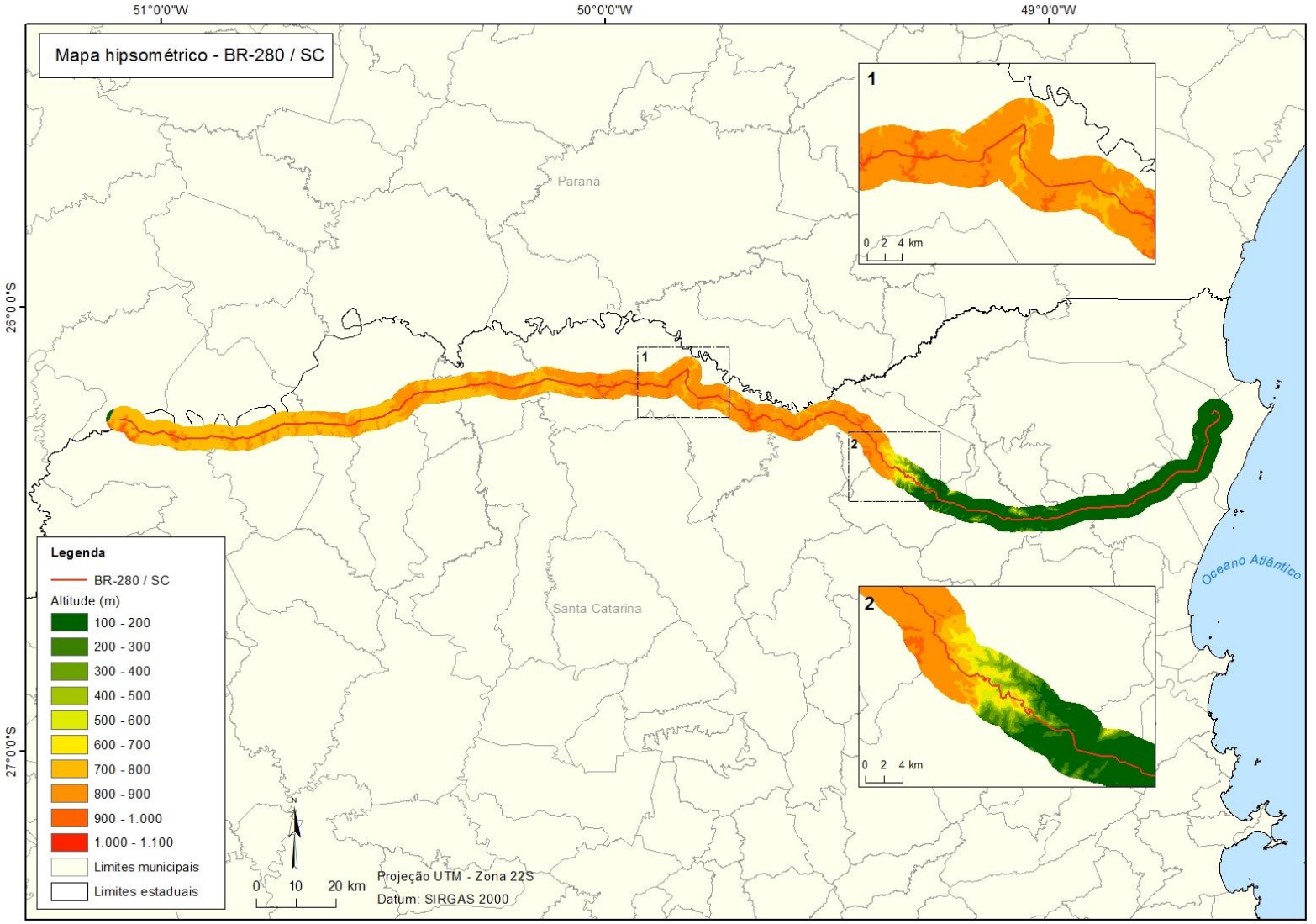
A Figura 21 apresenta o mapa hipsométrico da área de estudo com a devida distribuição das classes.

Figura 20 - Classes de altitude da BR-280/SC



Fonte: Elaborado pela autora (2017)

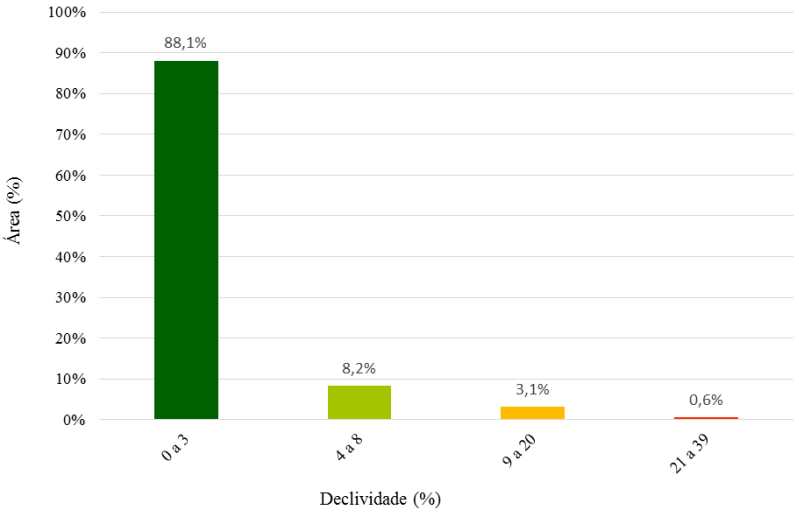
Figura 21 - Mapa hipsométrico da rodovia BR-280/SC



Fonte: Elaborado pela autora (2017)

A Figura 22 apresenta a predominância do relevo plano, classe que abrange 88,1% do total da área de estudo. As áreas de relevo suavemente ondulado totalizam 8,2% do total. Já as classes de relevo ondulado e relevo fortemente ondulado totalizam 3,1% e 0,6% em área, respectivamente. Estas estão concentradas, principalmente, nos municípios de Jaraguá do Sul, Corupá e São Bento do Sul. Para a área de estudo não foram identificadas as classes de relevo montanhoso e relevo fortemente montanhoso, ou seja, aquelas em que a declividade do terreno é superior a 45%. A Figura 23 apresenta o mapa de declividade da área de estudo com a devida distribuição das classes.

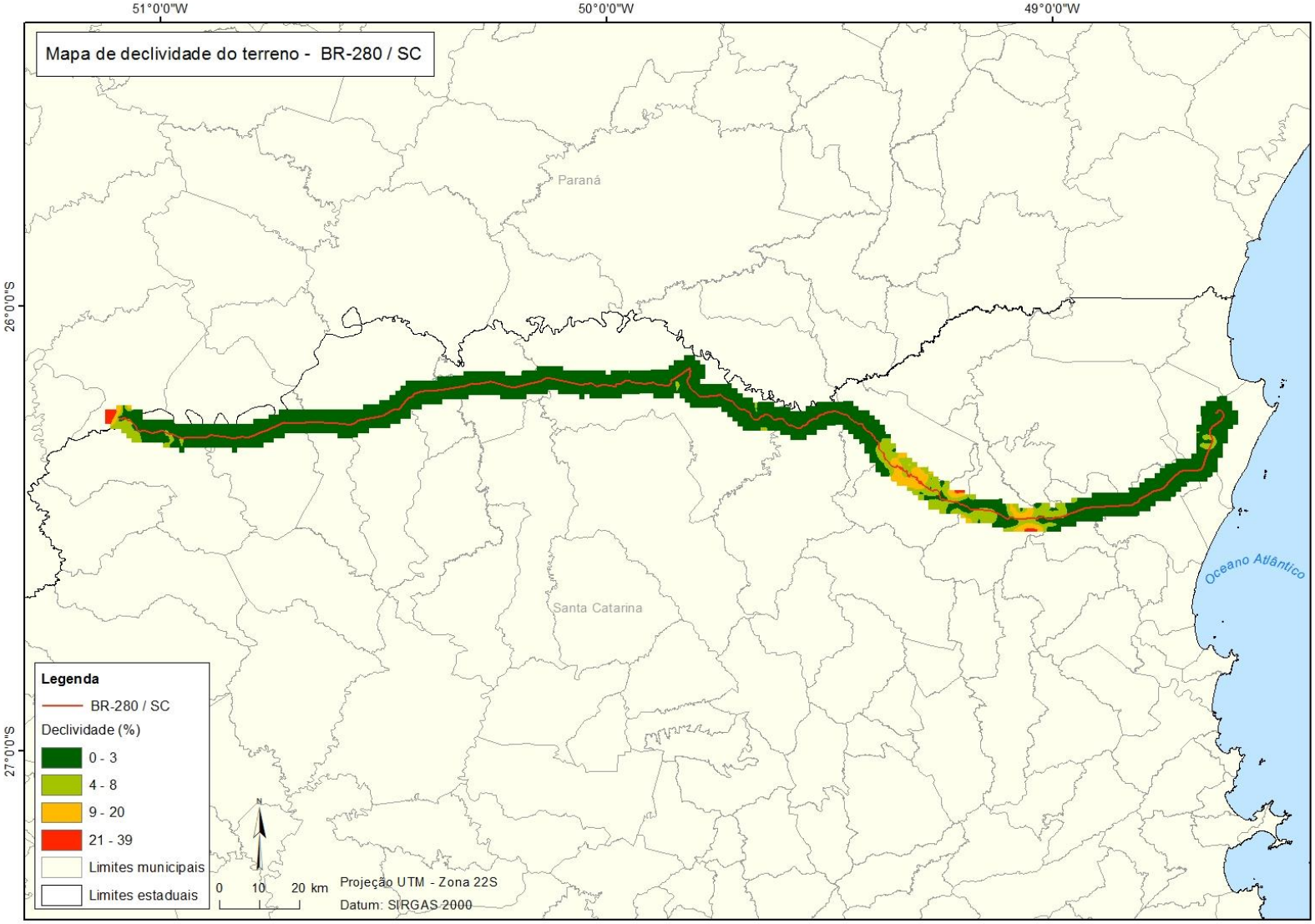
Figura 22 - Classes de declividade do terreno, em porcentagem, da BR-280/SC



Fonte: Elaborado pela autora (2017)

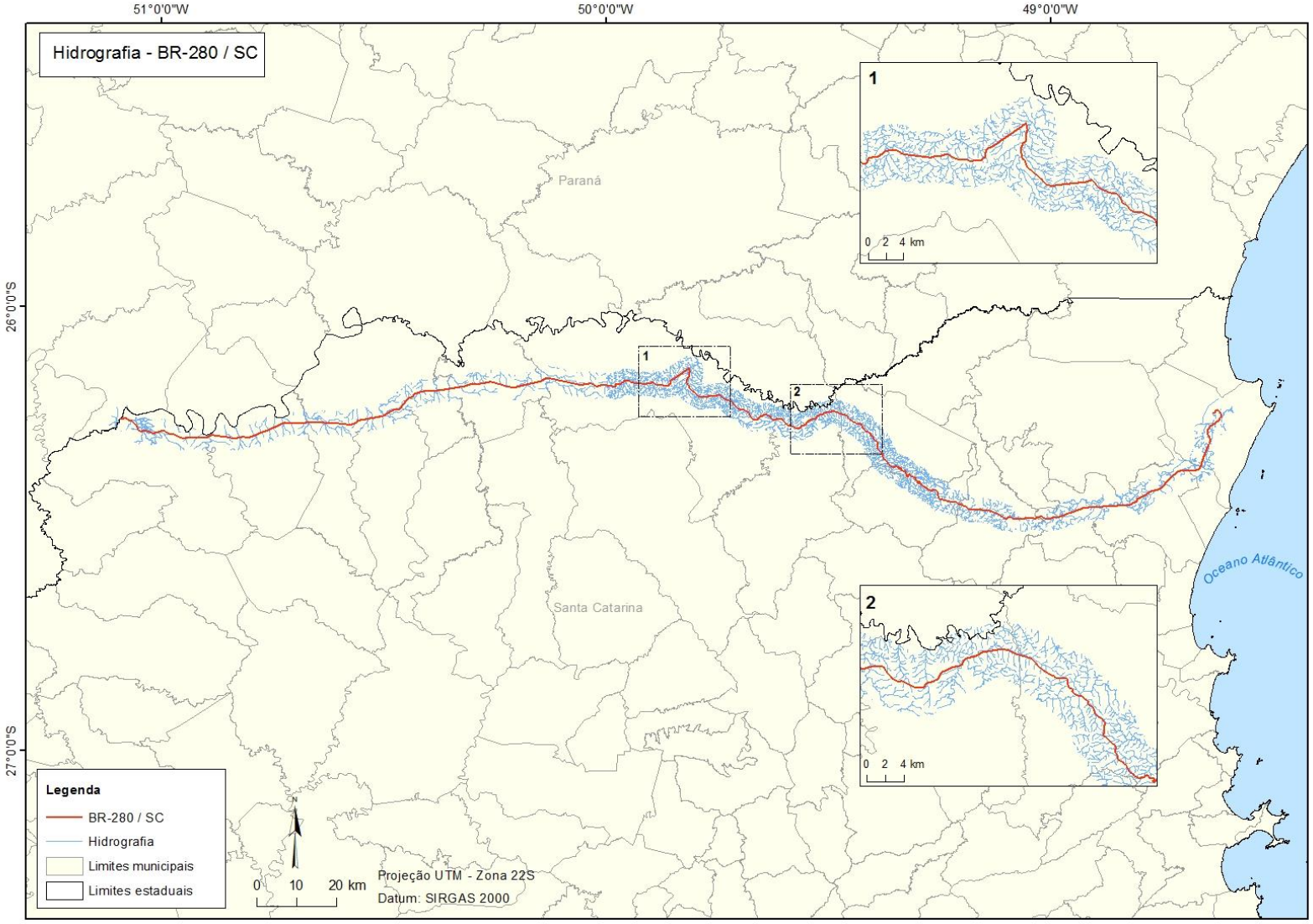
Para a variável hidrografia não foi realizada a divisão em classes. No entanto, a partir da distribuição apresentada na Figura 24, percebe-se que as maiores densidades hidrográficas estão localizadas entre as regiões 1 e 2 do mapa, ou seja, compreendendo os municípios de Corupá, São Bento do Sul, Rio Negrinho e Mafra.

Figura 23 - Mapa de declividade em porcentagem da BR-280/SC



Fonte: Elaborado pela autora (2017)

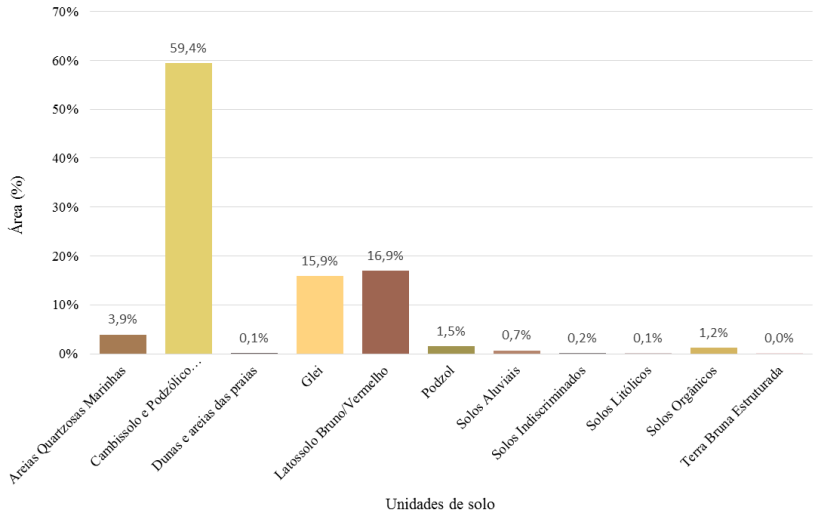
Figura 24 - Mapa hidrográfico da BR-280/SC



Fonte: Elaborado pela autora (2017)

Para a variável pedologia, a classe de associação dos solos cambissolo e podzólico vermelho-amarelo predomina, abrangendo aproximadamente 59% da área total, seguido pelo latossolo bruno/vermelho (16,9%), Glei (15,9%) e areias quartzosas marinhas (3,9%), conforme apresentado na Figura 25. As demais classes foram pouco representativas. O resultado pode ser verificado na Figura 27.

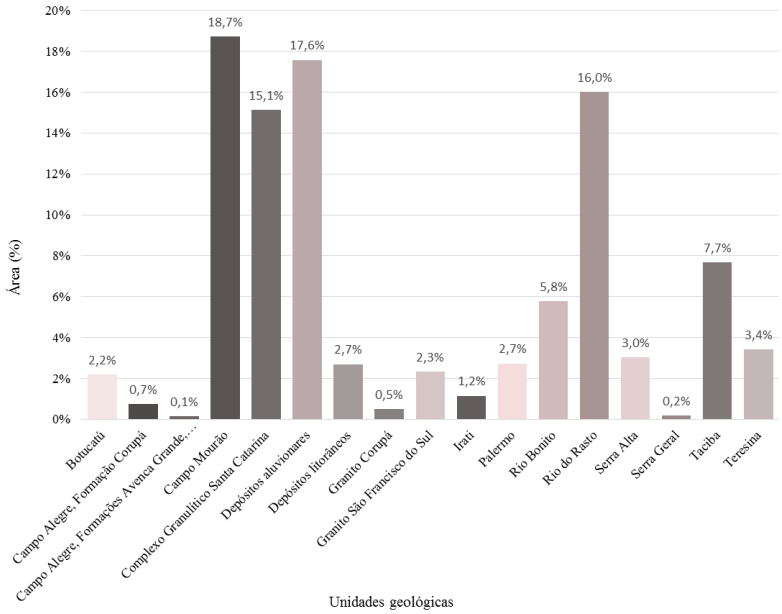
Figura 25 - Classes de solo verificados na BR-280/SC



Fonte: Elaborado pela autora (2017)

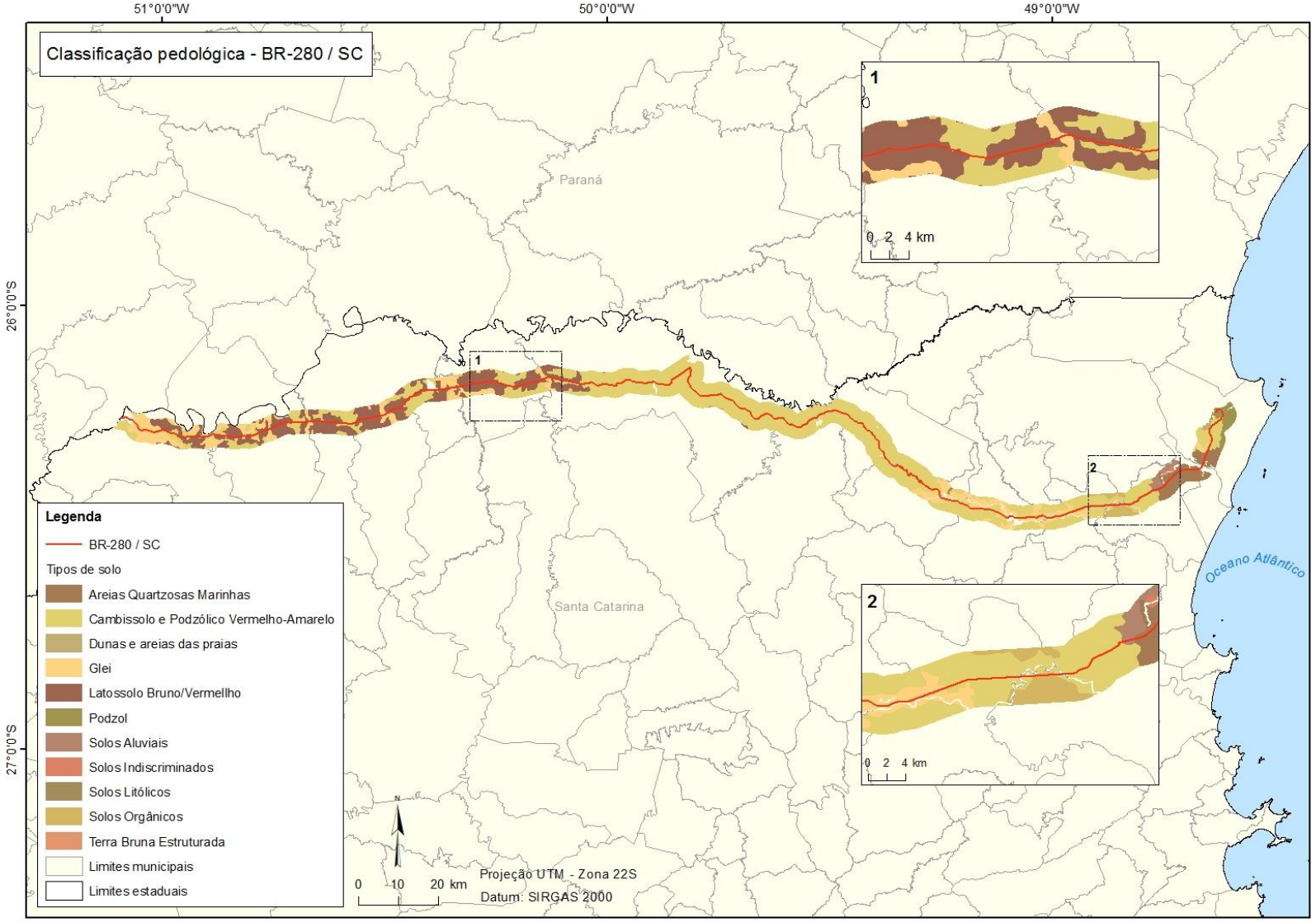
A Figura 26 exibe as classes geológicas presentes ao longo da rodovia BR-280, em Santa Catarina. Destacam-se as quatro classes mais representativas com suas respectivas porcentagens da área total: Campo Mourão (18,7%), Depósitos Aluvionares (17,6%), Rio do Rasto (16%) e Complexo Granulítico Santa Catarina (15,1%). A distribuição geológica da área de estudo é apresentada na Figura 28.

Figura 26 - Classes geológicas presentes na BR-280/SC



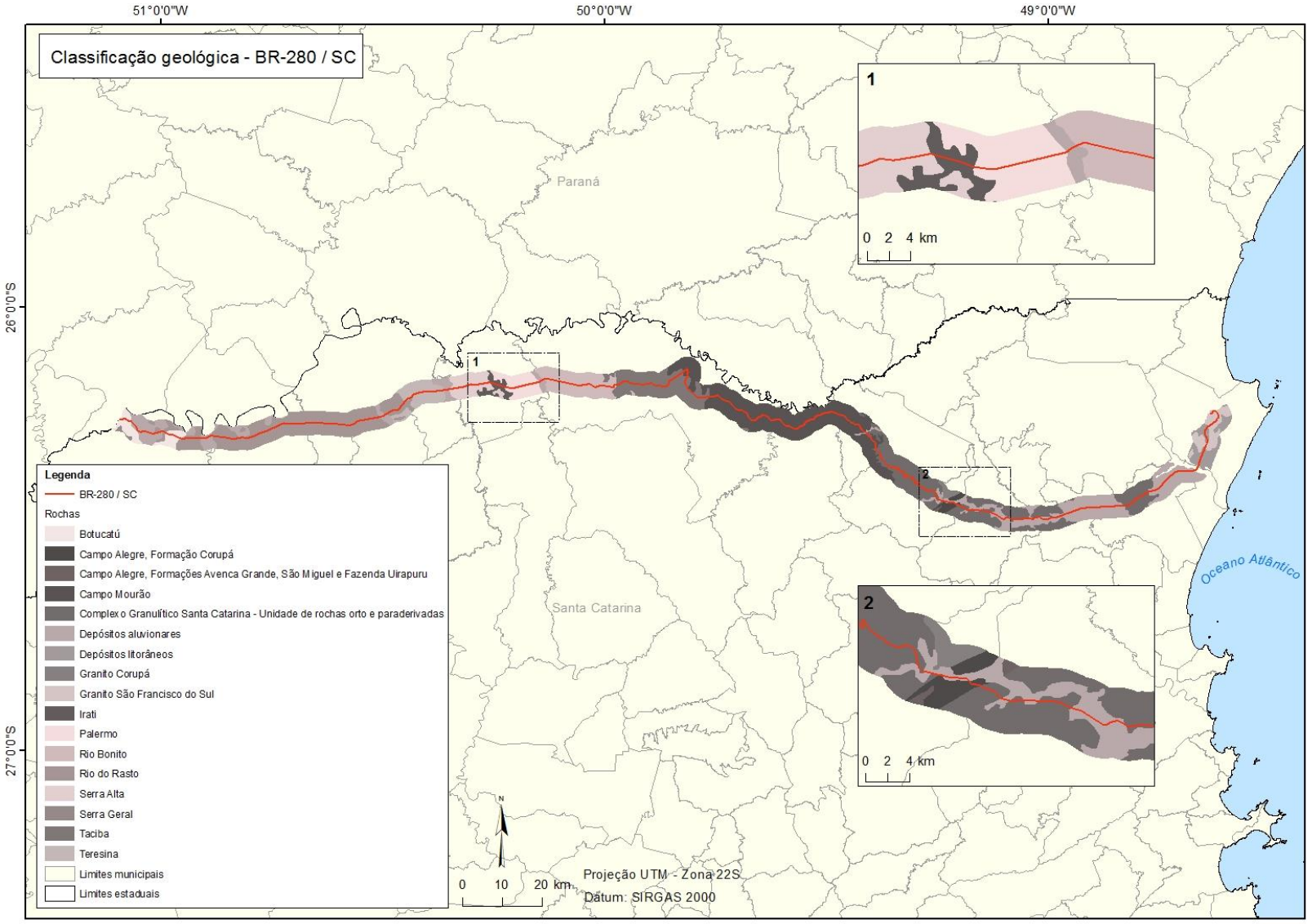
Fonte: Elaborado pela autora (2017)

Figura 27 - Mapa pedológico da BR-280/SC



Fonte: Elaborado pela autora (2017)

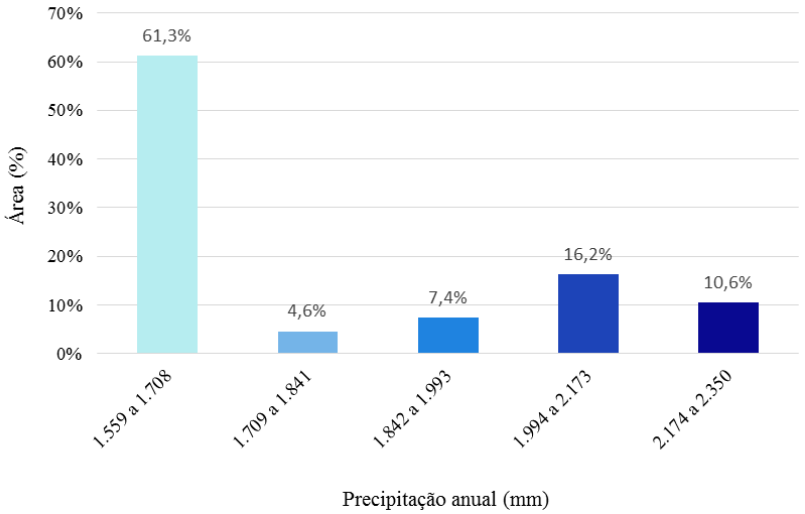
Figura 28 - Mapa geológico da BR-280/SC



Fonte: Elaborado pela autora (2017)

A Figura 29 exibe as classificações das médias pluviométricas anuais, em mm, verificadas ao longo da rodovia BR-280, em Santa Catarina, entre os anos de 2005 e 2014. Com a maior representatividade, a classe de 1.559 mm a 1.708 mm abrange 61,3% da área de estudo. Já as classes de maiores médias anuais, 2.174 mm a 2.350 mm e 1.994 mm a 2.173 mm compreendem, respectivamente, 10,6% e 16,2% do total, sendo verificadas nos municípios de São Francisco do Sul, Araquari, Guaramirim, Jaraguá do Sul e em parte de Corupá. A distribuição pluviométrica é apresentada na Figura 31.

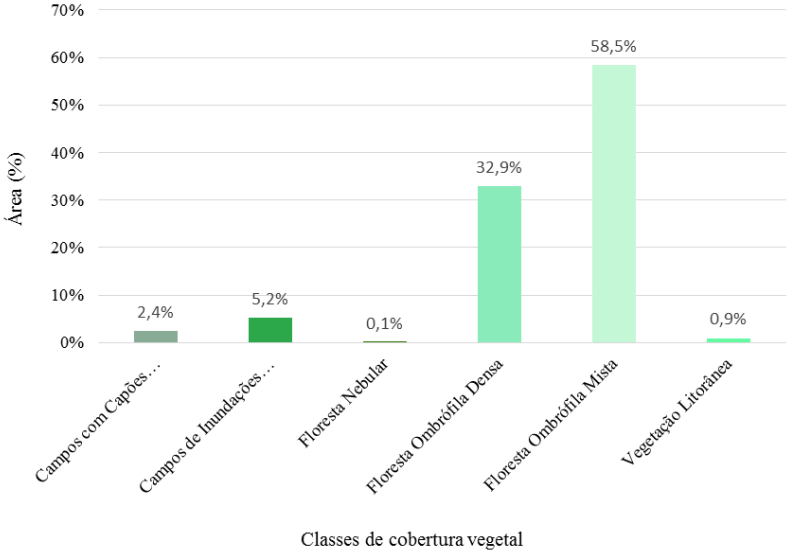
Figura 29 - Médias pluviométricas anuais, em mm, verificadas na BR-280/SC



Fonte: Elaborado pela autora (2017)

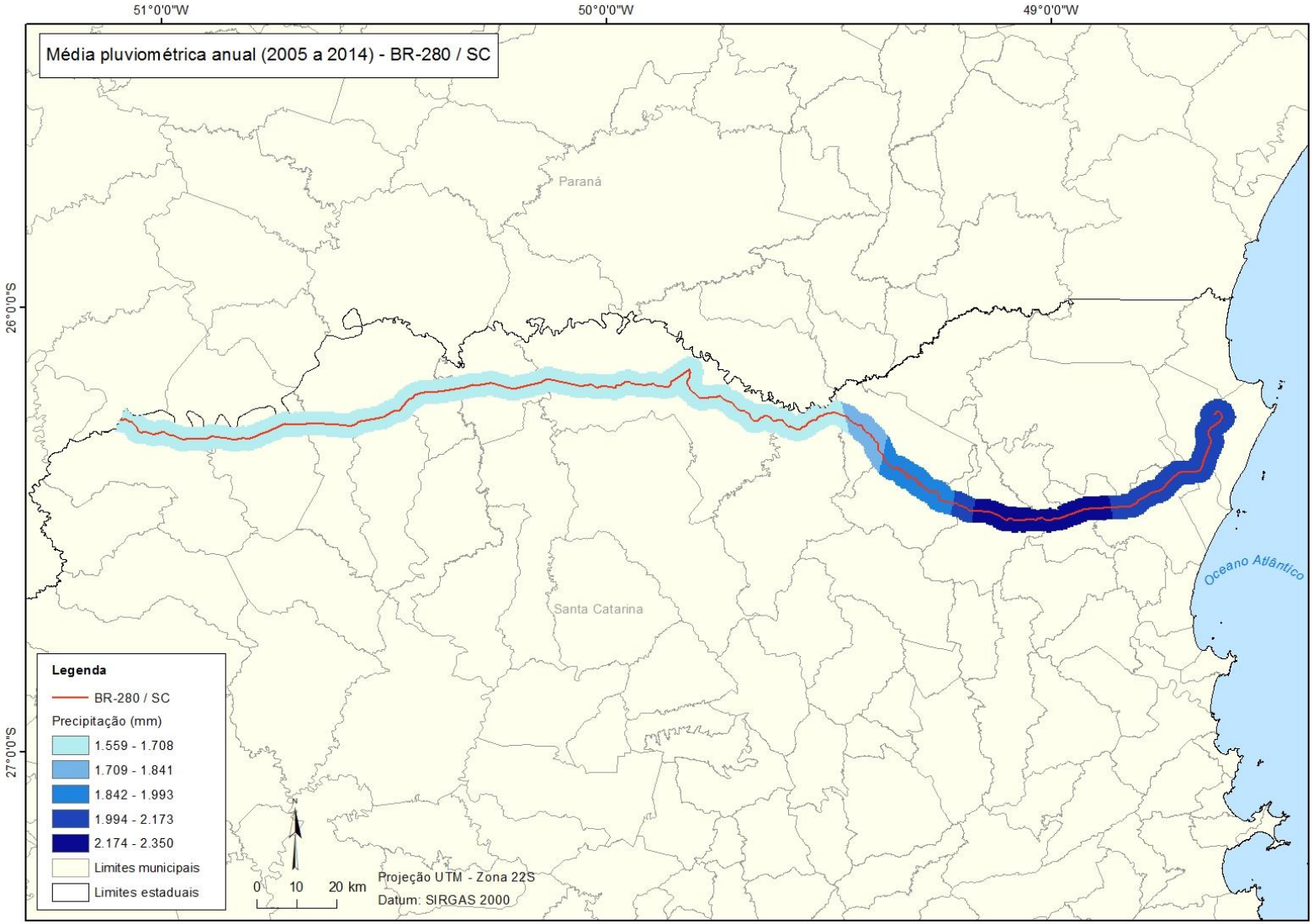
Para a varíavel cobertura vegetal, duas classes foram predominantes: floresta ombrófila mista e floresta ombrófila densa, abrangendo 58,5% e 32,9% da área total, respectivamente. A floresta nebular foi a classe menos representativa, compondo apenas 0,1% do total, conforme apresentado na Figura 30. A distribuição da vegetação ao longo da rodovia BR-280, em Santa Catarina, é apresentada na Figura 32.

Figura 30 - Classes de cobertura vegetal presentes na BR-280/SC



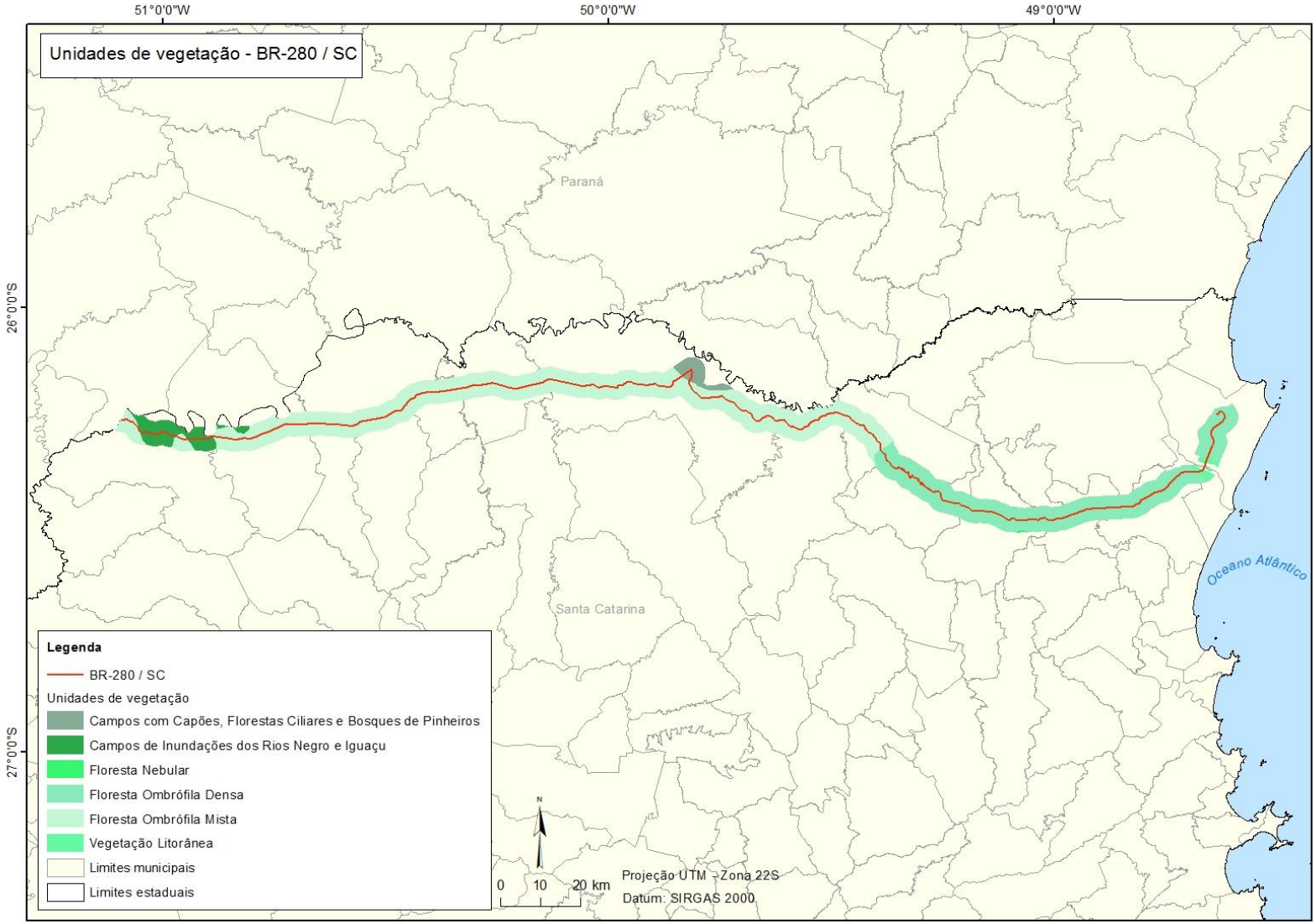
Fonte: Elaborado pela autora (2017)

Figura 31 - Mapa de precipitação da BR-280/SC



Fonte: Elaborado pela autora (2017)

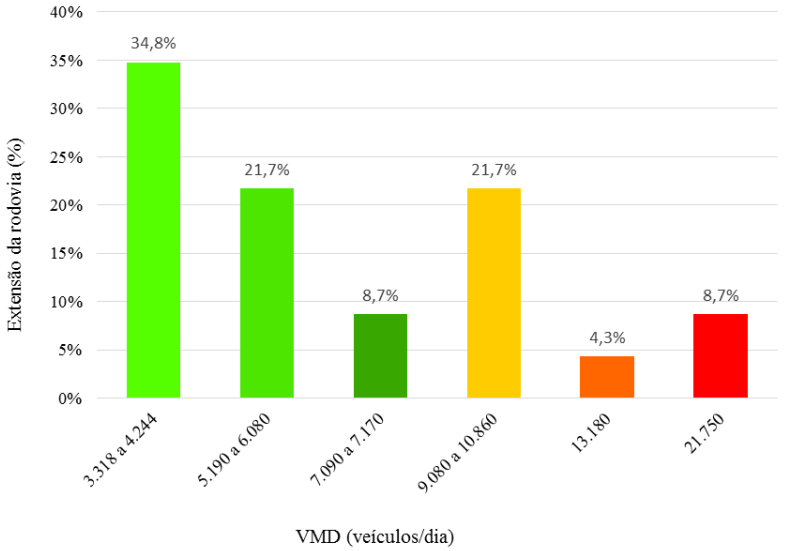
Figura 32 - Mapa de cobertura vegetal da BR-280/SC



Fonte: Elaborado pela autora (2017)

A Figura 33 apresenta as classes de Volume Médio Diário de tráfego verificadas ao longo da rodovia BR-280, em Santa Catarina. O tráfego menos intenso, 3.318 a 4.244 veículos por dia, é o mais representativo, abrangendo 34,8% da extensão total da rodovia. Na sequência, estão as classes 5.190 a 6.080 e 9.080 a 10.860, ambas com 21,7% do total. O tráfego mais intenso, 21.750 veículos por dia, é verificado em 8,7% da extensão da via, ou seja, um trecho de aproximadamente 20 quilômetros, entre os municípios de Araquari e Guaramirim. A distribuição do volume de tráfego na BR-280/SC é apresentada na Figura 35.

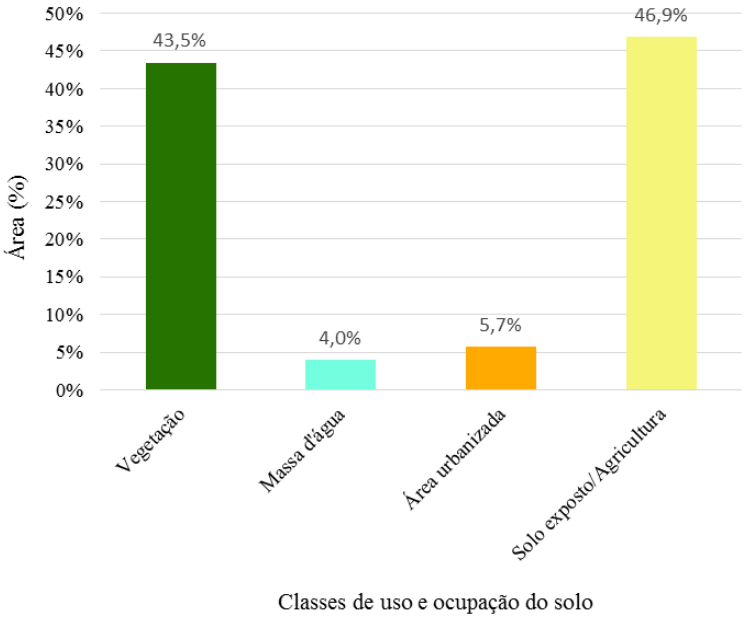
Figura 33 - Classes de Volume Médio Diário de tráfego na BR-280/SC (2009)



Fonte: Elaborado pela autora (2017)

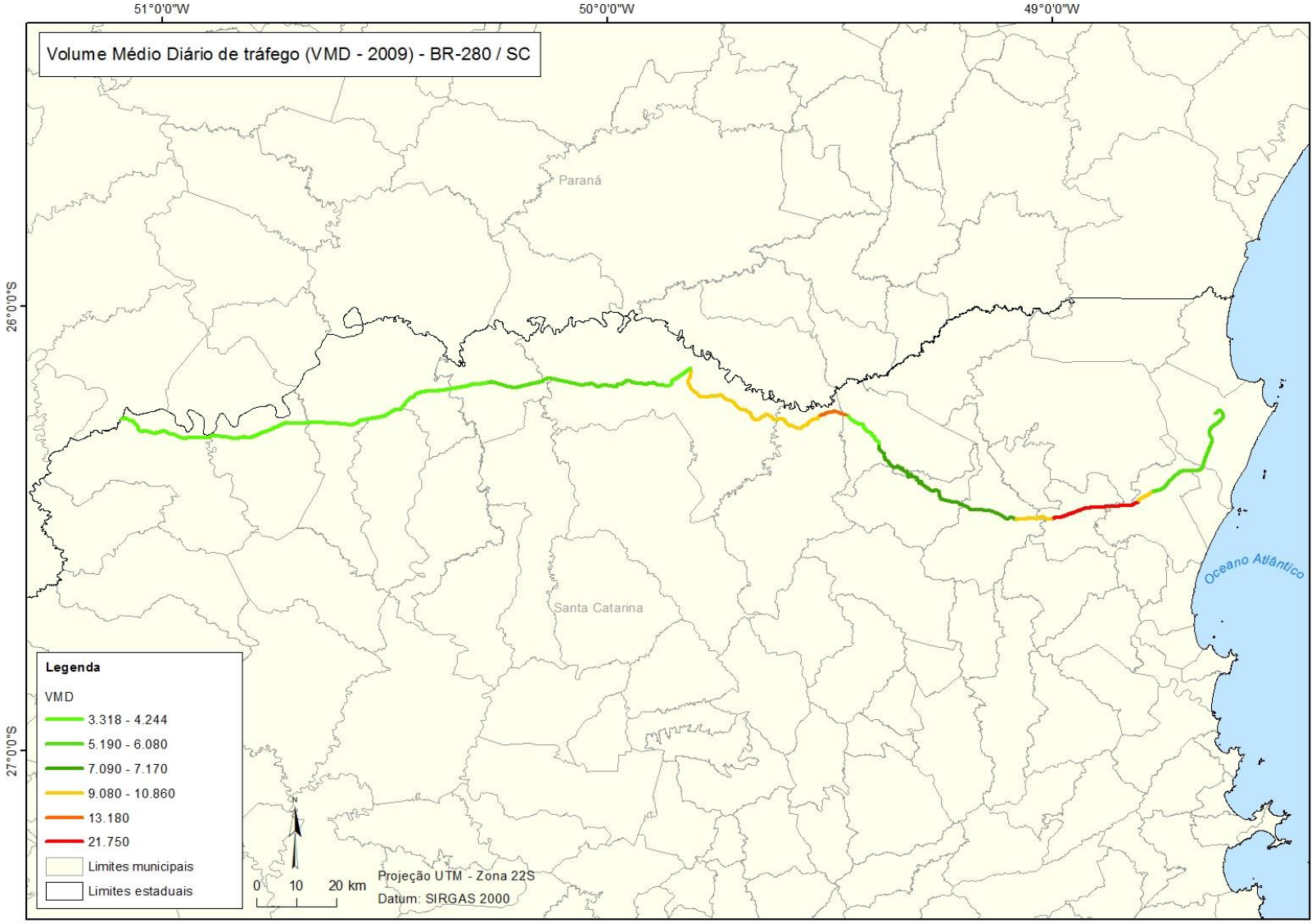
Para a variável uso e ocupação da terra, conforme apresentado na Figura 34, a classe com maior representatividade é a associação de solo exposto e agricultura, com aproximadamente 47% da área total de estudo, seguida pela classe vegetação (43,5%). Ambas estão localizadas ao longo de toda a rodovia BR-280, em Santa Catarina. Já as áreas antropizadas (5,7%) estão concentradas em grandes centros próximos à rodovia, caso de Jaraguá do Sul e Mafra, conforme exibido na Figura 36.

Figura 34 - Classes de uso e ocupação da terra verificadas na BR-280/SC



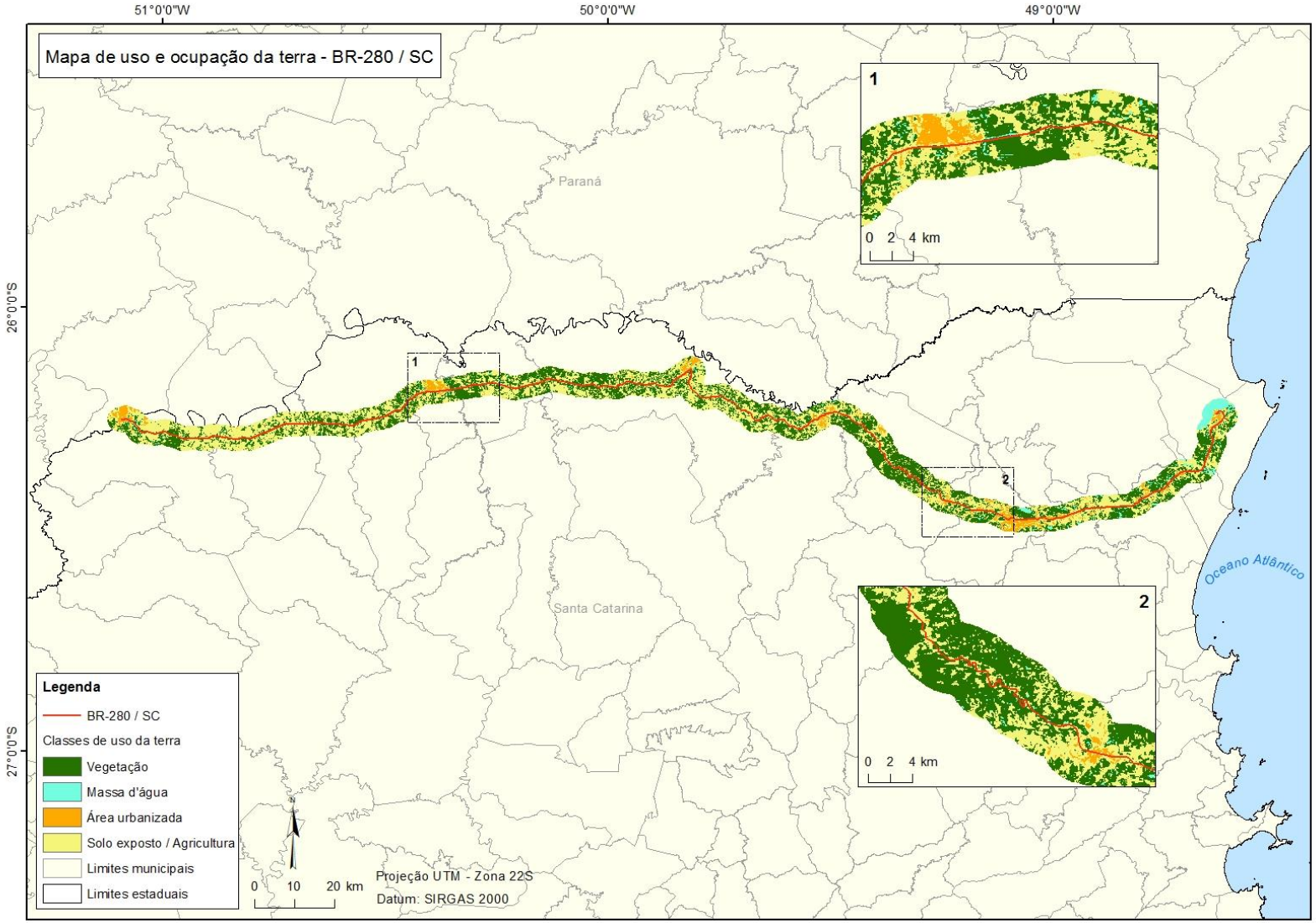
Fonte: Elaborado pela autora (2017)

Figura 35 - Mapa de Volume Médio Diário de trágefo da BR-280/SC



Fonte: Elaborado pela autora (2017)

Figura 36 - Mapa de uso e ocupação da terra da BR-280/SC



Fonte: Elaborado pela autora (2017)

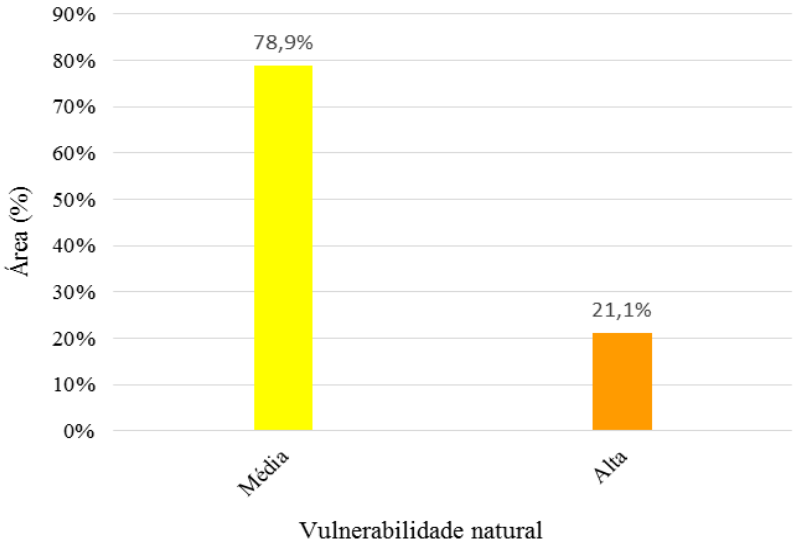
5.2 MAPEAMENTO DAS ÁREAS VULNERÁVEIS

Conforme o fluxograma apresentado na Figura 15, o processo de elaboração do mapa de vulnerabilidade ambiental é sucedido por outros dois mapas: vulnerabilidade natural e risco antrópico.

Primeiramente, o mapa de vulnerabilidade natural foi gerado através da composição dos pré-mapas de vulnerabilidade natural: aquele advindo dos fenômenos de movimento de massa e erosão (Figura 38) e o originado a partir dos critérios de inundação, enxurrada e alagamento (Figura 39).

A Figura 40 apresenta o mapa de vulnerabilidade natural da rodovia BR-280, em Santa Catarina. De acordo com os dados obtidos, a área de estudo apresenta em sua maior parte (78,9%) uma média vulnerabilidade natural aos desastres. A classe de vulnerabilidade natural alta compreende 21,1% da área total. Não foram identificadas áreas de muito baixa, baixa e muito alta vulnerabilidade natural. A Figura 37 exibe a distribuição das classes de vulnerabilidade natural para a rodovia BR-280, em Santa Catarina.

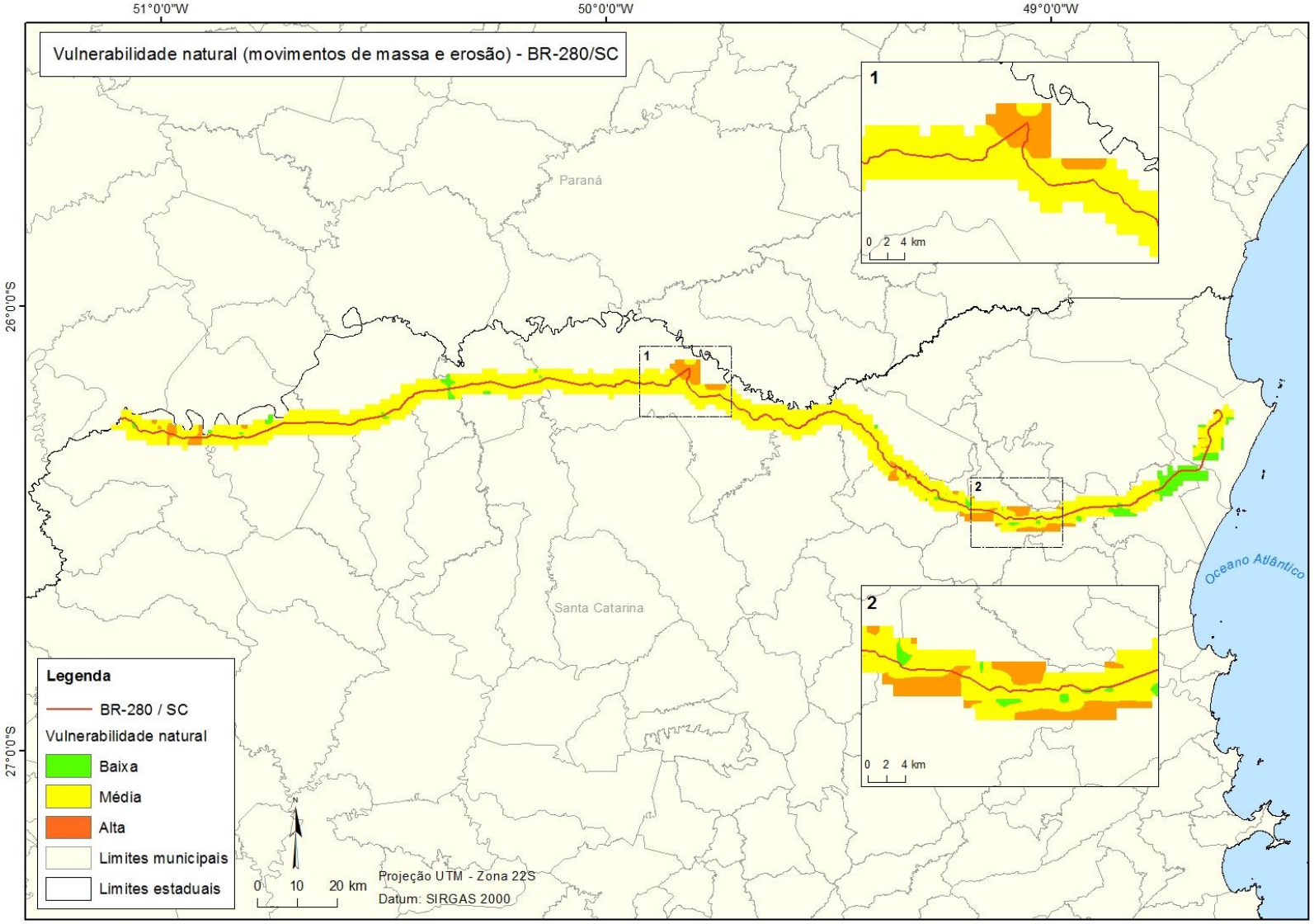
Figura 37 - Classe de vulnerabilidade natural da rodovia BR-280/SC



Fonte: elaborado pela autora (2017)

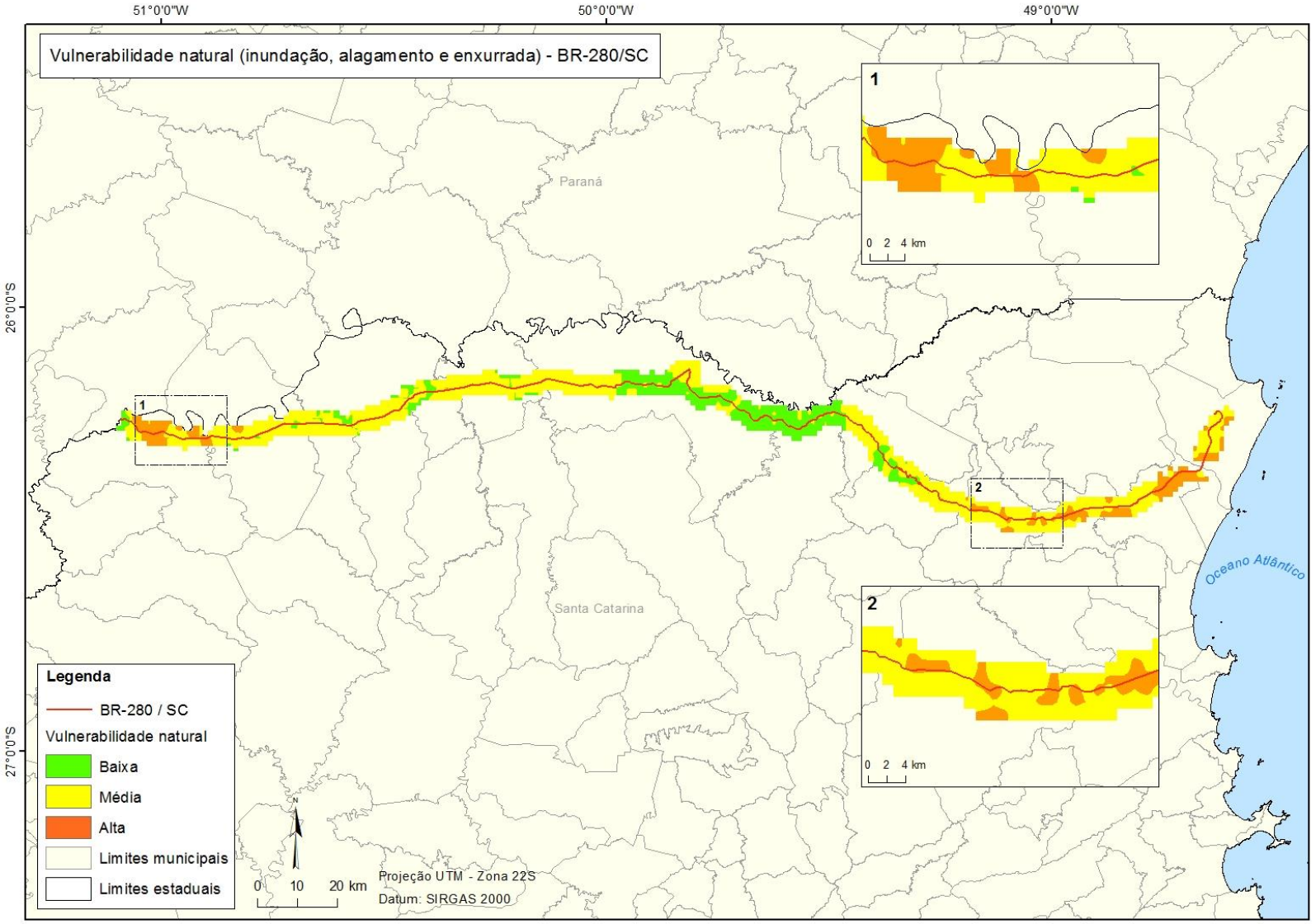
Conforme o mapa de vulnerabilidade natural aos desastres (Figura 40), as áreas com maior vulnerabilidade estão localizadas nas porções central, extremo leste e extremo oeste da rodovia, nos municípios de São Francisco do Sul, Araquari, Guaramirim, Jaraguá do Sul, Corupá, Mafra e Porto União.

Figura 38 - Mapa de vulnerabilidade natural, movimentos de massa e erosão, da BR-280/SC



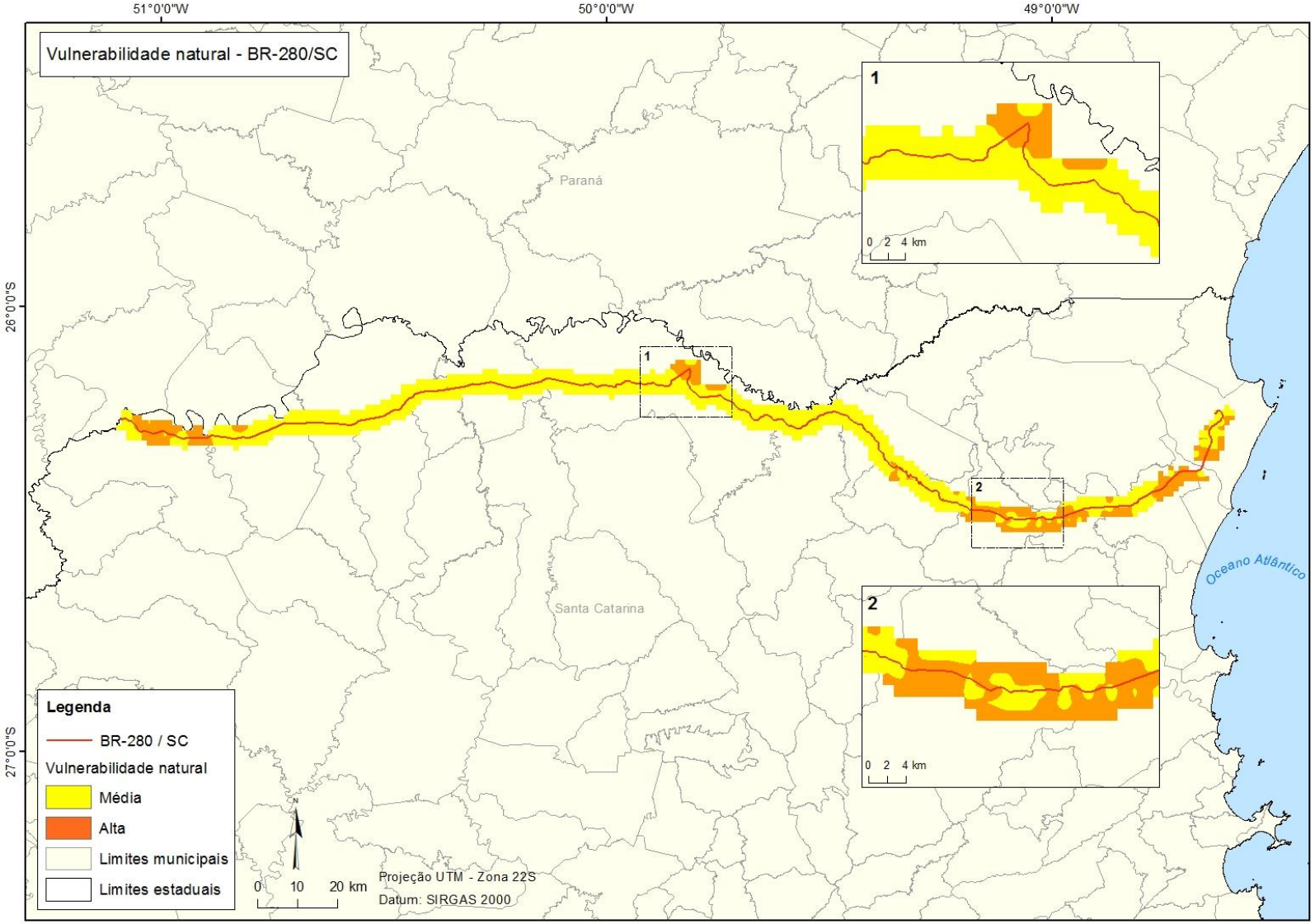
Fonte: Elaborado pela autora (2017)

Figura 39 - Mapa de vulnerabilidade natural, inundação, alagamento e enxurrada, da BR-280/SC



Fonte: Elaborado pela autora (2017)

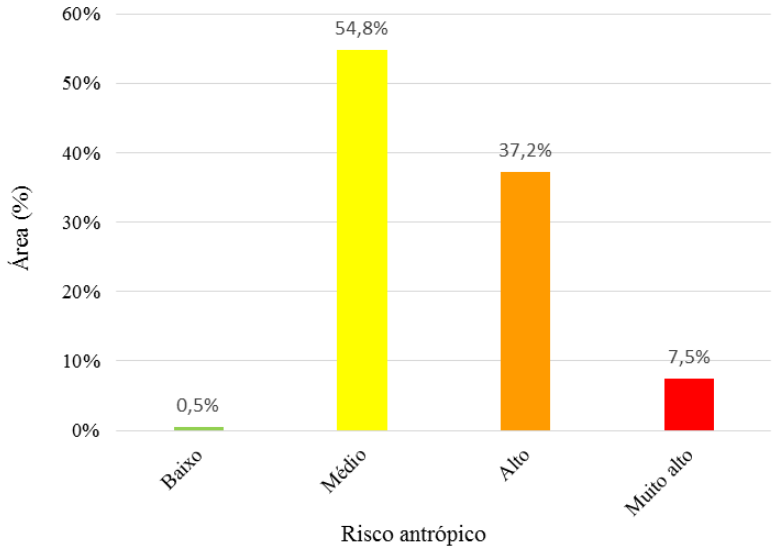
Figura 40 - Mapa de vulnerabilidade natural da rodovia BR-280/SC



Fonte: Elaborado pela autora (2017)

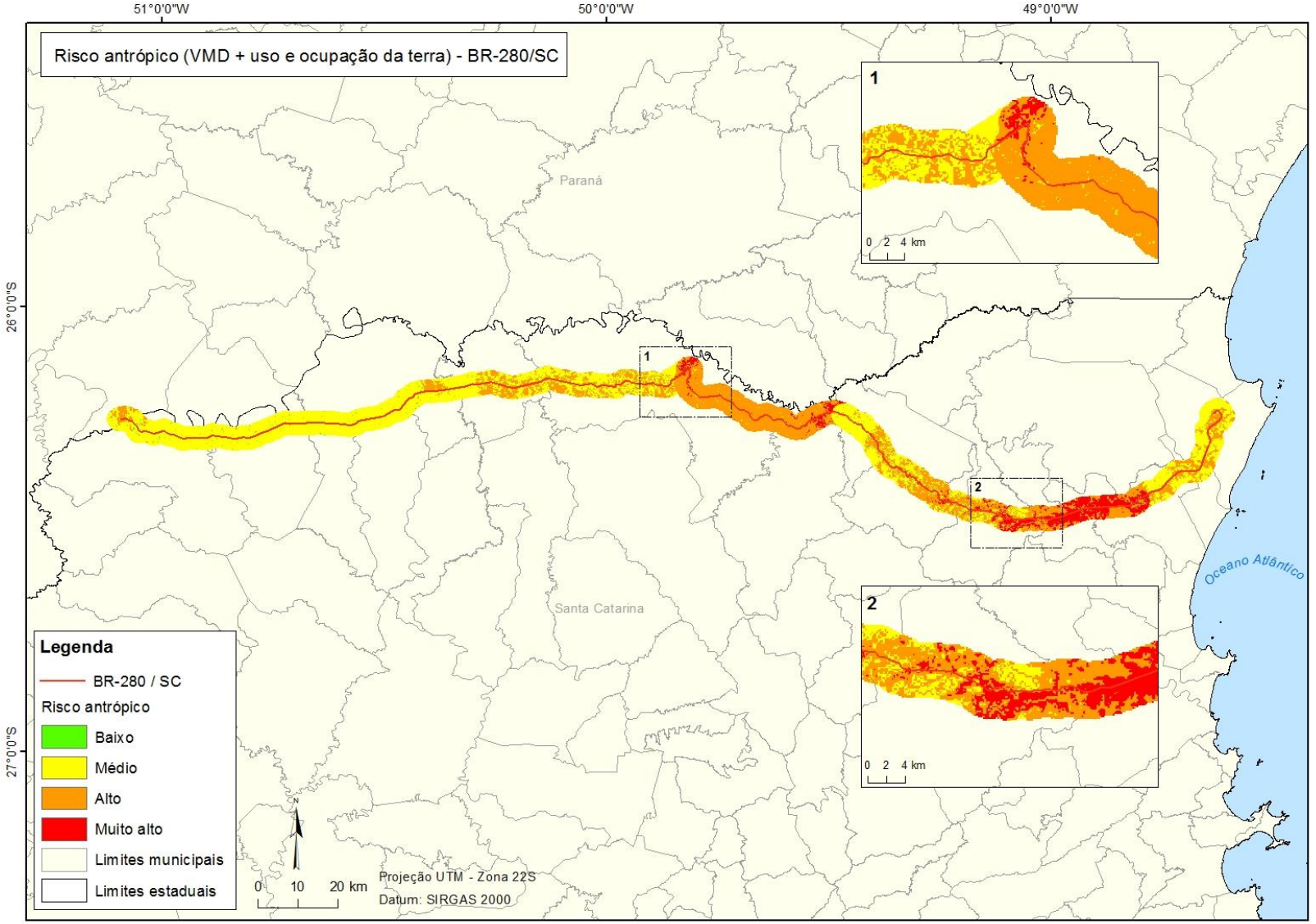
A Figura 42 apresenta o mapa de risco antrópico aos desastres naturais para a rodovia BR-280, em Santa Catarina. De acordo com os dados obtidos, a área de estudo apresenta em sua maior parte (54,8%) um médio risco antrópico aos desastres naturais. As classes de risco antrópico baixo e alto compreendem 0,5% e 37,2%, respectivamente. Já a classe de risco antrópico muito alto representa 7,5% do total da área de estudo e se concentra, principalmente, nos municípios de Araquari, Guaramirim, Jaraguá do Sul, Rio Negrinho e Mafra. Não foram identificadas áreas de muito baixo risco antrópico. A Figura 41 apresenta a distribuição das classes de risco antrópico para a área de estudo.

Figura 41 - Classes de risco antrópico da rodovia BR-280/SC



Fonte: elaborado pela autora (2017)

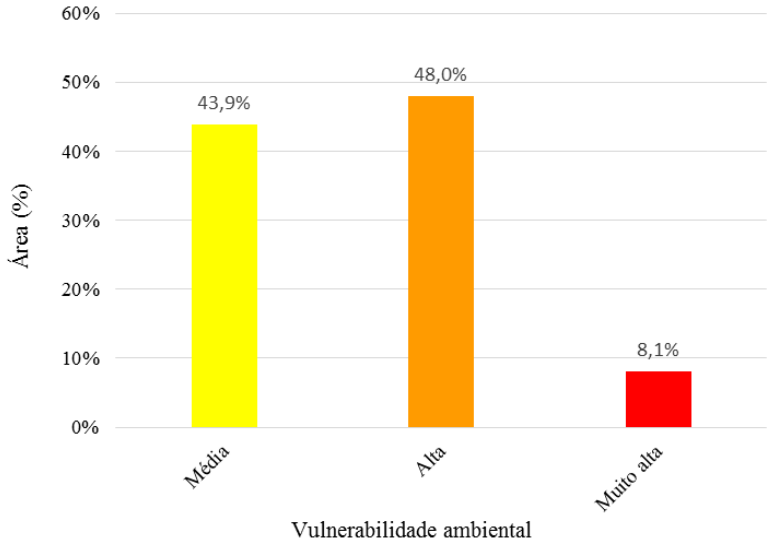
Figura 42 - Mapa de risco antrópico da BR-280/SC



Fonte: Elaborado pela autora (2017)

O produto final do presente estudo, mapa de vulnerabilidade ambiental aos desastres naturais na rodovia BR-280, em Santa Catarina, é apresentado na Figura 44. De acordo com os dados obtidos, a área de estudo apresenta em sua maior parte (48,0%) uma alta vulnerabilidade ambiental aos desastres. As classes de vulnerabilidade ambiental média e muito alta compreendem 43,9% e 8,1%, respectivamente. Não foram identificadas áreas de muito baixa e baixa vulnerabilidade ambiental. A Figura 43 apresenta a distribuição das classes de vulnerabilidade ambiental para a área de interesse.

Figura 43 - Classes de vulnerabilidade ambiental da rodovia BR-280/SC



Fonte: Elaborado pela autora (2017)

Conforme o mapa de vulnerabilidade ambiental aos desastres (Figura 44), as áreas com muito alta vulnerabilidade estão concentradas, principalmente, no município de Guaramirim. Os municípios de Araquari, Jaraguá do Sul, Rio Negrinho e Mafra também apresentam locais de muita alta vulnerabilidade ambiental. Já os municípios de Canoinhas e Irienópolis possuem quase a totalidade de suas áreas classificadas como média vulnerabilidade ambiental.

A classe de vulnerabilidade ambiental muito alta tem predomínio de altitude variando de 100 a 200 metros (80,6%) e relevo plano (85,4%). Na estrutura geológica, destaca-se o Complexo Granulítico

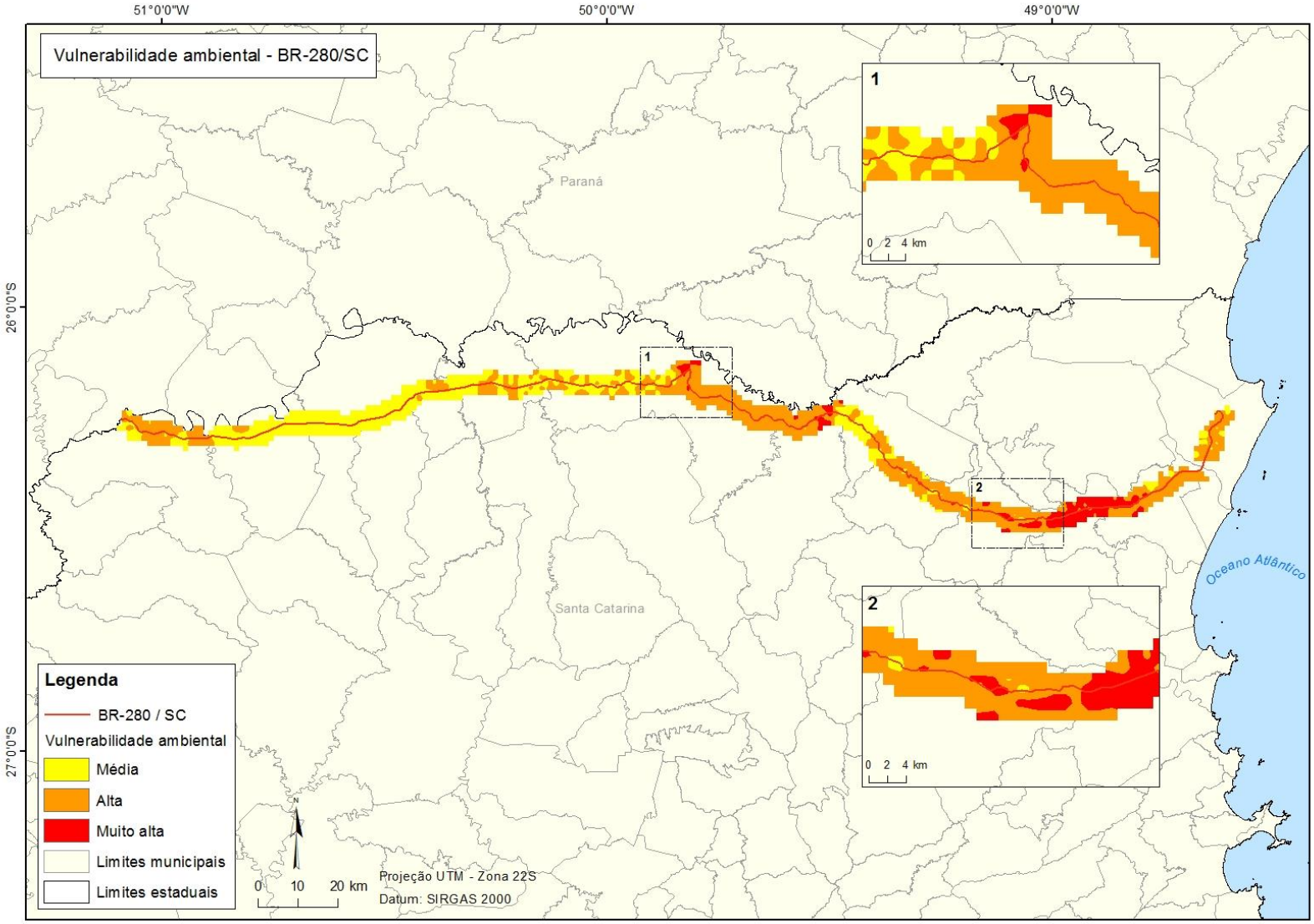
Santa Catarina (37,5%). Quanto à pedologia, prevalece a associação dos solos cambissolo e podzólico vermelho-amarelo (70,9%). A cobertura vegetal é composta por campos com capões, floresta ombrófila densa e floresta ombrófila mista (ambas com 33,3%); e o uso e ocupação da terra se caracterizam pela presença do solo exposto e agricultura (57,0%). O Volume Médio Diário de tráfego se concentra na faixa de 9.080 a 10.860 veículos/dia (41,7%). Já em relação à precipitação, o maior volume de chuva, 2.174 mm a 2.350 mm, é o mais representativo nesta classe (69,2%).

Já para a classe de susceptibilidade alta, predominam altitudes variando de 800 a 900 metros (39,2%), relevo plano (88,1%), depósitos aluvionares (22,6%), floresta ombrófila densa (36,3%), assim como a associação dos solos cambissolo e podzólico vermelho-amarelo (63,2%). O uso e ocupação da terra se caracterizam pela presença do solo exposto e agricultura (48,2%). O Volume Médio Diário de tráfego se concentra na faixa mais baixa, de 3.318 a 4.244 veículos/dia (31,8%). Já em relação à precipitação, o menor volume de chuva, 1.559 mm a 1.708 mm, é o mais representativo nesta classe (58,9%).

Por último, a classe de suscetibilidade média tem predomínio de altitudes variando de 700 a 800 m (43,7%), relevo plano (89,0%), depósitos aluvionares (27,0%), floresta ombrófila densa (57,1%), assim como a associação dos solos cambissolo e podzólico vermelho-amarelo (50,9%). O uso e ocupação da terra se caracterizam pela presença de vegetação (50,5%). O Volume Médio Diário de tráfego se concentra na faixa mais baixa, de 3.318 a 4.244 veículos/dia (38,1%). Já em relação à precipitação, o menor volume de chuva, 1.559 mm a 1.708 mm, é o mais representativo nesta classe (76,7%).

As porcentagens detalhadas relacionadas a cada classe de vulnerabilidade ambiental são apresentadas no Apêndice II.

Figura 44 - Mapa de vulnerabilidade ambiental da BR-280/SC



Fonte: Elaborado pela autora (2017)

6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

A partir dos dados obtidos neste presente estudo foi possível indicar um quadro geral da rodovia BR-280, em Santa Catarina, de modo a caracterizar a vulnerabilidade ambiental aos desastres naturais da mesma.

Essencialmente, os nove indicadores selecionados caracterizam as condições naturais e antrópicas as quais a rodovia está sujeita, indicando que, devido à estrutura do seu entorno, a BR-280 é vulnerável à ocorrência de desastres naturais. Concomitantemente, o mapa de vulnerabilidade ambiental, elaborado com base na metodologia do Processo Analítico Hierárquico, aponta os locais mais críticos quanto à vulnerabilidade.

A maior parte da BR-280/SC foi classificada como alta vulnerabilidade ambiental (48%), seguida pelas classes de média (43,9%) e muito alta (8,1%). Não foram identificadas regiões de baixa e muito baixa vulnerabilidade ambiental. Constata-se que as áreas classificadas como muito alta vulnerabilidade ambiental estão concentradas, principalmente, no município de Guaramirim. Os municípios de Araquari, Jaraguá do Sul, Rio Negrinho e Mafra também apresentam locais de muita alta vulnerabilidade ambiental. Destaca-se, o alto volume de chuva, 2.174 mm a 2.350 mm, ao qual parte desta região (69,2%) está sujeita. O resultado indica que a BR-280, em Santa Catarina, merece atenção especial por parte dos órgãos responsáveis pela gestão das rodovias federais, de modo a prevenir prejuízos e evitar as adversidades.

A cobertura vegetal e a média pluviométrica foram fatores preponderantes na determinação da vulnerabilidade ambiental. No entanto, a altitude e a declividade do terreno foram indicadas como os fatores de menor importância para o estudo. A técnica AHP utilizada para determinação de pesos das classes contribuintes se mostrou eficaz, uma vez que reduz e simplifica o problema proposto, minimizando os erros de julgamento durante o processo.

Destaca-se a dificuldade encontrada, durante a revisão bibiliográfica, quanto à inexistência de estudos multicriteriais específicos para rodovias no âmbito da vulnerabilidade ambiental. Sendo assim, buscou-se o embasamento teórico através de estudos realizados por diversos autores envolvidos com decisões multicriteriais em rodovias e/ou meio ambiente, não restrigindo a pesquisa ao aspecto da vulnerabilidade ambiental.

O ferramental metodológico aplicado neste estudo se mostrou simples e efetivo, podendo ser replicado em outras regiões, devido à relevância das variáveis selecionadas para compor o modelo. Desta forma, considera-se a metodologia eficiente para prover informações rápidas e estratégicas.

No entanto, salienta-se que tal metodologia representa um aspecto geral da vulnerabilidade ambiental, com baixo nível de detalhamento. A melhora nas estimativas das áreas vulneráveis demonstra a necessidade de estudos técnicos aprimorados, como ensaios de caracterização física e mecânica dos solos, e verificação em campo das condições atuais da cobertura vegetal ao longo da rodovia. Ademais, verificou-se durante a realização deste estudo que avaliar a propensão aos desastres a partir do conjunto de ocorrências - inundações, alagamentos, enxurradas, movimentos de massa e erosão – pode propiciar incoerências no mapeamento das áreas de vulnerabilidade ambiental. Tal situação é decorrente das influências opostas que certos critérios exercem nesses fenômenos, tendo como exemplo a altitude do terreno. Desta forma, para estudos que demandam um maior detalhamento, sugere-se que a avaliação seja realizada de forma separada, ou seja, uma classificação para os movimentos de massa e erosão e outra para inundações, alagamentos e enxurradas. Ademais, salienta-se que o dados disponibilizados de Volume Médio Diário de tráfego (VMD) estão desatualizados em comparação à classificação do uso e ocupação da terra, o que poderia ter camuflado os resultados obtidos.

- Para futuros trabalhos, recomenda-se a inclusão de outras variáveis, como a distância das margens dos rios, de modo a excluir inconsistências no mapeamento das áreas.
- Propõe-se, o levantamento de históricos de ocorrências de desastres, de modo a correlacionar com as áreas mais vulneráveis levantadas no mapeamento.
- Recomenda-se também, a realização do estudo a partir de outra metodologia multicritério, como MACBETH ou PROMETHEE, de modo a verificar a similaridade, ou não, das classes de vulnerabilidade ambiental obtidas.

7. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, F. S.; NUÑEZ, W. P. **Critérios para a tomada de decisão em obras rodoviárias sustentáveis. Ambiente Construído,** [s.l.], v. 10, n. 3, p.151-163, set. 2010. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212010000300010.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Séries Históricas.** Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?TocItem=1080&TipoReg=7&MostraCon=false&CriaArq=false&TipoArq=1&SerieHist=true>. Acesso em: 09 ago. 2016.

ANGELO, C.; FEITOSA, C. **País poderá viver drama climático em 2040.** Disponível em: <https://www.socioambiental.org/pt-br/noticias-socioambientais/pais-podera-viver-drama-climatico-em-2040>. Acesso em: 08 set. 2016.

CASTRO, A. L. C. **Glossário de Defesa Civil Estudos de Riscos e Medicina de Desastres.** 2. ed. Brasília, 1998. Disponível em: <http://www.defesacivil.pr.gov.br/arquivos/File/publicacoes/glossario.doc>. Acesso em: 05 jun. 2016.

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

BERDICA, K. **An introduction to road vulnerability: what has been done, is done and should be done.** Transport Policy, v. 9, n. 2, 2002, p. 117-127.

BIANCO, G. L. **Metodologia para auxiliar a tomada de decisão gerencial na priorização de investimentos públicos em rodovias utilizandose da análise multicritério.** 2016. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Transportes, Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2016. Disponível em: <http://www.transportes.unb.br/downloads/dissertacoes/004-2016.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2016.

BOAS, C. L. V. **Método multicritérios de análise de decisão (MMAD) para as decisões relacionadas ao uso múltiplo de reservatórios: Analytic Hierarchy Process (AHP).** Goiânia, s/d. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/rehi/simposio/go/METODO MULTICRITERIOS DE ANALISE DE DECISAO (MMAD) PARA AS DECISOES RELACIONADAS AO USO MULTIPLO .pdf>. Acesso em: 28 jul. 2016.

BRANS, J.; MARESCHAL, B. **Multiple Criteria Decision Analysis:** State of the art surveys. Boston: Springer Science + Business Media, 2005.
BRASIL. Lei nº **12608, de 10** de abril de 2012.

BRASIL. Secretaria de Assuntos Estratégicos. **Adaptação às Mudanças do Clima:Infraestrutura de Transporte:** Produto 4: avaliação da vulnerabilidade da malha rodoviária nos hotspots. Rio de Janeiro, 2015. 71 p.

BRASIL. **Portaria n° 150, de 10 de maio de 2016**. Institui o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima e dá outras providências. Diário Oficial da União, 2016.

CARDOZO, F. S.; HERRMANN, M. L. P.; PEREIRA, G. **Ánálise das áreas suscetíveis a inundações na bacia do Rio Forquilhas, São José/SC.** Geousp - Espaço e Tempo, São Paulo, v. 00, n. 27, p.33-45, abr. 2010. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/geousp/article/viewFile/74153/77796>. Acesso em: 11 set. 2016.

CARVALHO, J. R. M.; CARVALHO, E. K. M. A.; CURI, W. F.; CURI, R. C.; CÂNDIDO, G. A. **Metodologia para avaliar a saúde ambiental: uma aplicação em municípios empregando a análise multicriterial**. **Saúde e Sociedade,** [s.l.], v. 23, n. 1, p.204-216, mar. 2014. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s0104-12902014000100016.

CASTRO, A. L. C. Ministério da Integração Nacional, Secretaria de Defesa Civil. **Segurança global da população.** 2000. Disponível em: < http://cidbimena.desastres.hn/pdf/por/doc10456/doc10456-a.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2016.

COSTA, C. A. B.; VANSNICK, J. **A Theoretical Framework for Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique (MACBETH).** Multicriteria Analysis**,** [s.l.], p.15-24, 1997. Springer Science + Business Media. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-60667-0_3.

COSTA, C. A. B.; ANGULO-MEZA, L.; OLIVEIRA, M. D. **O método MACBETH e aplicação no brasil**. Engevista**,** v. 15, n. 1, p.3-27, abr. 2013.

COSTA, C. A. B.; CORTE, J.; VANSNICK, J. **On the Mathematical Foundation of MACBETH.** International Series In Operations Research & Management Science, [s.l.], p.409-437, 2005. Springer Science + Business Media. http://dx.doi.org/10.1007/0-387-23081-5_10.

DE LEÓN, J. C. V. **Vulnerability: a Conceptual and Methodological Review.**
SOURCE, Studies of the University: Research, Counsel, Education – Publication Series of UNU – EHS. N. 4, 2006. Disponível em: < http://collections.unu.edu/eserv/UNU:1871/pdf3904.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Situação das rodovias – Chuvas 2014/2015.** Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/download/sala-de-imprensa/emergencias-chuvas/emergencias-tabela-13.04.15-10h.pdf>. Acesso em: 10 set. 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Estimativa do Volume Médio Diário anual - VMD - 2009.** 2009. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/download/rodovias/operacoes-rodoviarias/controle-de-velocidade/vmda-2009.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2016.

DEUS, B. V.; ZEILHOFER, P.; ARAUJO, G. C.; SANTOS, A. S. L. Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação,III, 2010, Recife. **Interpolação pluviométrica na bacia do alto e médio rio Teles Pires: uma analise de séries históricas e interpoladores.** Cuiabá, 2010. Disponível em:

<https://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIII/IIISIMGEO_CD/artigos/Todos_Artigos/A_51.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2017.

EFFAT, H. A.; HASSAN, O. A. **Designing and evaluation of three alternatives highway routes using the Analytical Hierarchy Process and the least-cost path analysis, application in Sinai Peninsula, Egypt.** The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**,** [s.l.], v. 16, n. 2, p.141-151, dez. 2013. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrs.2013.08.001.

EGITO, T.; FONTANA, M. E.; MORAIS, D. C. **Seleção de alternativas de conservação de água no meio urbano utilizando abordagem multicritério. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental,** Santa Maria, v. 19, n. 3, p.209-221, set.-dez. 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ)**. In: Reunião Técnica de Levantamento de Solos, 1979, Rio de Janeiro. Súmula… Rio de Janeiro, 1979. 83 p.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SANTA CATARINA - FIESC. **INDÚSTRIA DE MÓVEIS DE SC.** 2014. Disponível em: <http://www2.fiescnet.com.br/web/pt/site_topo/pei/info/mobiliario-1>. Acesso em: 11 out. 2016.

GOMES, E. G.; MELLO, J. C. C. B. S.; MANGABEIRA, J. A. C. **Índice multicritério de bem estar social rural em um município da Região Amazônica.** Pesquisa Operacional, [s.l.], v. 28, n. 1, p.9-88, abr. 2008. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s0101-74382008000100008.

GONZALEZ, E.; LIU, J.; LIU, W.; ZHANG, Z.; MURPHY, M. R.; O'CONNOR, J. T.; BHAT, C. **An AHP-based Approach to Prioritizing Resources for Highway Routine Maintenance.** Austin, out. 2012. Disponível em: <http://library.ctr.utexas.edu/ctr-publications/0-6623-2.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2016.

GRASSI, J; DEPPE, F.; LOHMANN, M.; SANGOI, D. S. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XVI, 2013, Foz do Iguaçu.

Mapeamento da vulnerabilidade a inundações e deslizamentos de terra no Estado do Paraná. Curitiba, 2008. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0608.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2016.

INVENTÁRIO FLORÍSTICO FLORESTAL DE SANTA CATARINA - IFFSC. **Mapas IFFSC - Meta 2 -** Inventário (FURB). Disponível em: <http://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1172&Itemid=543>. Acesso em: 14 jan 2017.

INTERNATIONAL COUNCIL FOR SCIENCE – ISCU. **Natural and human-induced environmental hazards.** 2005. Disponível em: <https://www.unisdr.org/2005/task-force/tf-meetigns/12th-TF-mtg/item3-ICSU.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2016

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability** - Contribution of Working Group 2 to the IPCC Third Assessment Report. Cambridge Univ. Press. 2001. Disponível em: <http://www.meteotrentino.it/clima/pdf/rapporti_meteo/IPCC_Impacts_Adaptation_and_Vulnerability.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2016.

JESUS, F. G.; FONTENELE, H. B. **Desempenho ambiental dos serviços de manutenção rodoviária: uma aplicação da análise multicritério construtivista.** Londrina, 2013. Disponível em: <http://www.anpet.org.br/ssat/interface/content/autor/trabalhos/publicacao/2013/412_RT.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2016.

KAYASTHA, P.; DHITAL, M.r.; SMEDT, F. **Application of the analytical hierarchy process (AHP) for landslide susceptibility mapping: A case study from the Tinau watershed, west Nepal.** Computers & Geosciences, [s.l.], v. 52, p.398-408, mar. 2013. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2012.11.003.

KLEIN, R. M. **Mata fitogeográfico do Estado de Santa Catarina**. Itajaí: Herbáreo Barbosa Rodrigues, 1978. 24p.

LAMMERHIRT, M.. **Trecho da BR-280 entre Corupá e São Bento do Sul deve ser liberado na próxima quarta-feira.** 2014. Agência RBS. Disponível em: <http://anoticia.clicrbs.com.br/sc/geral/an-jaragua/noticia/2014/06/trecho-da-br-280-entre-corupa-e-sao-bento-do-

sul-deve-ser-liberado-na-proxima-quarta-feira-4531664.html>. Acesso em: 15 set. 2016.

LEITE, I. M. S.; FREITAS, F. F. T. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXXII, 2012, Bento Gonçalves. **Análise Comparativa dos métodos de apoio multicritério a decisão: AHP, Electre e Promethee.** 2008. Disponível em: < http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2012_TN_STP_162_944_20906.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2016.

LISBOA, M. V. **Avaliações ambientais estratégicas de rodovias com a utilização de métodos multicriteriais de auxílio à tomada de decisão.** 2002. Disponível em: <http://www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/v_en/Mesa2/6.pdf>. Acesso em: 31 jul. 2016.

LISBOA, M. V.; WAISMAN, J. **Análise multicritério aplicada ao estudo de alternativas de traçado de rodovias: uma abordagem sócio ambiental.** Boletim Técnico da Fatec-SP**,** São Paulo, n. 22, p.28-33, jul. 2007. Disponível em: <http://www.kpesic.com/sites/default/files/Analise_Multicriteri_definicao_tracado_abordagem_socio_ambiental.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2016.

MARCIONILIO, S. M. L. O.; SOARES, A. K.. **Avaliação da sustentabilidade ambiental com aplicação do método PROMETHEE II. Revista de Biotecnologia & Ciência,** Anápolis, v. 3, n. 1, out. 2014. Disponível em: <http://www.revista.ueg.br/index.php/biociencia/article/view/2142/2021>. Acesso em: 05 ago. 2016.

MELLO, J. C. C. B. S.; GOMES, E. G.; LINS, M. P. E. **Análise multicritério da presença da Universidade Federal Fluminense com o uso do método MACBETH**. Produção, [s.l.], v. 11, n. 2, p.53-67, dez. 2001. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s0103-65132001000200004.

MENDONÇA, F.; LEITÃO, S. **Riscos e vulnerabilidade socioambiental urbana:** uma perspectiva a partir dos recursos hídricos. In: GeoTextos, vol. 4, n. 1 e 2, 2008, p. 145 - 163.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO - MI. **Instrução Normativa nº 01, de 24 de agosto de 2012**. Estabelece procedimentos e critérios para a decretação de situação de emergência ou estado de calamidade pública pelos Municípios, Estados e pelo Distrito Federal, e para o reconhecimento federal das situações de anormalidade decretadas pelos entes federativos e dá outras providências.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Plano Nacional de Adaptação.** 2016. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/adaptacao/plano-nacional-de-adaptacao>. Acesso em: 09 nov. 2016.

MONGUILHOTT, M. **Estudo de áreas suscetíveis à movimentos de massa na Rodovia RS/486 – Rota do Sol.** 2008. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2008.

MONTGOMERY, C.W. ***Environmental geology.*** 3ª ed. Dubuque: WM.C. Brown Publishers, 1992. 465p.

OPERATIONS RESEARCH AND THE MANAGEMENT SCIENCES - INFORMS. **INFORMS Recognizes Saaty with Impact Prize.** s/d. Disponível em: <https://www.informs.org/About-INFORMS/News-Room/Press-Releases/INFORMS-Recognizes-Saaty-with-Impact-Prize>. Acesso em: 29 jul. 2016.

OUMA, Y.; TATEISHI, R. **Urban Flood Vulnerability and Risk Mapping Using Integrated Multi-Parametric AHP and GIS: Methodological Overview and Case Study Assessment.** Water, [s.l.], v. 6, n. 6, p.1515-1545, 30 maio 2014. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/w6061515.

PALACIOS, J. L.; CHUQUISENGO, O.; FERRADAS, P. **Gestión de Riegos em los Gobiernos Locales.** Lima: Soluciones Práticas – ITDG, 2005. Disponível em: <http://redpeia.minam.gob.pe/admin/files/item/4e4a8d954da40_Gestion_de_riesgo_en_los_gobiernos_locales.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2016.

PALHARES, G. L. **Avaliação de Alternativas de Transporte no Corredor Rio de Janeiro – Niterói - São Gonçalo – Itaboraí:O Método da Análise Hierárquica Multicriteriaoncalo – Itaborai: O**

Método da Análise Hierárquica Multicriterial. 2000. 174 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999.

PAPAIOANNOU, G.; VASILIADES, L.; LOUKAS, A.. **Multi-Criteria Analysis Framework for Potential Flood Prone Areas Mapping.** Water Resour Manage, [s.l.], v. 29, n. 2, p.399-418, 18 out. 2014. Springer Science + Business Media. http://dx.doi.org/10.1007/s11269-014-0817-6.

PRATA FILHO, D. A., SALES, D. S. V.;DE MELLO, J. C. C. B. S. **Aspectos arquitetônicos e gestão de resíduos sólidos em edifícios comerciais, visto sob a análise multicritério.** VI SIBESA - Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002 Vitória. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/sibesa6/cl.pdf>. Acesso em: xx de jul. de 2016

RAMANATHAN, R. **A note on the use of the analytic hierarchy process for environmental impact assessment**. Journal of Environmental Management**,** [s.l.], v. 63, n. 1, p.27-35, set. 2001. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1006/jema.2001.0455.

REMOR, D. **Serra de Corupá é liberada para o trânsito.** 2015. Agência RBS. Disponível em: <http://anoticia.clicrbs.com.br/sc/geral/an-jaragua/noticia/2015/10/serra-de-corupa-e-liberada-para-o-transito-4886160.html>. Acesso em: 09 set. 2016.

ROSA, F. S., ENSSLIN, S. R., ENSSLIN, L.; LUNKES, R. J. 2012. **Environmental disclosure management: a constructivist case**. Management Decision, 50, 1117-1136p.

ROSA, G. G. G.; SANTOS, A. R.; PELUZIO, T. M. O.; MARIANO, R. ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, XII, 2008, São José dos Campos. **Utilização do método AHP para determinação de um modelo matemático para o mapeamento das áreas de riscos de inundação da bacia hidrográfica do Rio Alegre, ES.** Espírito Santo, 2008. Disponível em: <http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2008/anais/arquivosINIC/INIC1113_03_O.pdf>. Acesso em: 31 jul. 2016.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process: planning, priority setting, resource allocation**. McGraw- Hill. 1980. 287 p.

_____. **The Analytic Hierarchy Process in conflict management.** Int Jnl of Conflict Management, [s.l.], v. 1, n. 1, p.47-68, jan. 1990. Emerald. http://dx.doi.org/10.1108/eb022672.

_____. **Decision making with the analytic hierarchy process.** International Journal of Services Sciences, [s.l.], v. 1, n. 1, p.83-98, 2008. Inderscience Publishers. http://dx.doi.org/10.1504/ijssci.2008.017590.

SAATY, T. L.; VARGAS, Luis G. **Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process.** International Series in Operations Research & Management Science, [s.l.], 2012. Springer US. http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4614-3597-6.

SANTOS, A. S.; RIBEIRO, S. K. CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA EM TRANSPORTE DA ANPET, 29, 2015, Rio de Janeiro. **Impactos, vulnerabilidades e adaptação no setor de transportes frente às mudanças climáticas: como a cidade do Rio de Janeiro deverá se preparar?** Ouro Preto, 2015. Disponível em: <http://www.anpet.org.br/xxixanpet/anais/documents/AC829.pdf>. Acesso em: 09 set. 2016.

SANTOS, A. R.; LOUZADA, F. L. R de O.; EUGENIO, F. C. **ArcGIS 9.3 total: aplicações para dados especiais.** Alegre, ES: Ciências Agrárias Universidade Federal do Espírito Santo/CAUFES, 2010. 180p.

SANTOS, M. F. S. **Geoprocessamento aplicado ao estudo da vulnerabilidade ambiental da Serra da Calçada - MG.** 2014. 45 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Geoprocessamento, Cartografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

SIDDAYAO, G. P.; VALDEZ, S. E.; FERNANDEZ, P. L. **Analytic Hierarchy Process (AHP) in Spatial Modeling for Floodplain Risk Assessment.** International Journal of Machine Learning and Computing, [s.l.], v. 4, n. 5, p.450-457, 2014. EJournal Publishing. http://dx.doi.org/10.7763/ijmlc.2014.v4.453.

SILVA, V. B. S.; SCHRAMM, F.; CARVALHO, H. R. C. **O uso do método PROMETHEE para seleção de candidatos à bolsa-formação do Pronatec. Produção,** [s.l.], n. 3, 2013. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s0103-65132013005000048.

SUINOCULTURA INDUSTRIAL. **Santa Catarina: o berço da suinocultura brasileira.** 2003. Disponível em: <http://www.suinoculturaindustrial.com.br/imprensa/santa-catarina-o-berco-da-suinocultura-brasileira/20020418-165302-0660>. Acesso em: 09 nov. 2016.

TATIZANA, C.; OGURA, A. T.; CERRI, L. E. S.; ROCHA, M. C. M., 1987. **Escorregamentos – Serra do Mar, Municípios de Cubatão.** Anais do 5º congresso brasileiro de geologia e engenharia. Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo S.A. – IPT, 23 p

THE INTERNATIONAL DISASTERS DATABASE - EM-DAT. **Glossary**. s/d. Disponível em: < http://www.emdat.be/glossary>. Acesso em: 20 jun. 2016.

THEISS, J.. **BR-280, no trecho entre Corupá e São Bento do Sul, deve ser liberada apenas na próxima segunda-feira.** 2014. Agência RBS. Disponível em: <http://anoticia.clicrbs.com.br/sc/geral/an-jaragua/noticia/2014/06/br-280-no-trecho-entre-corupa-e-sao-bento-do-sul-deve-ser-liberada-apenas-na-proxima-segunda-feira-4534629.html>. Acesso em: 09 set. 2016

THYWISSEN, K. **Components of Risk, a Comparative Glossary**. SOURCE, Studies of the University: Research, Counsel, Education – Publication Series of UNU – EHS.N. 2, 2006

TÔSTO, S. G., PEREIRA, L. C., SOBRINHO, R. P., MARQUES, J. F., ROMEIRO, A. R.; MANGABEIRA, J. A. D. C. 2010**. Análise multicritério como apoio á elaboração de índice de sustentabilidade ambiental no Município de Araras**, SP. Documentos. Brasília: Embrapa Monitoramento por Satélite. Disponível em: < http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/31746/1/Doc-82.pdf>. Acesso em: xx de jul. de 2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012 /**

Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. 2. ed . rev. ampl. – Florianópolis: CEPED UFSC, 2013. 168 p.

VASCONCELOS, G. R; M. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, XLVI, 2014, Salvador. **Modelo multicritério de comparação par a par baseado no AHP: proposta de linearização do processo de comparação.** Recife, 2014. Disponível em: <http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2014/pdf/arq0173.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2016.

VILLANOVA, BIANCA. **BR-280, no trecho entre Corupá e São Bento do Sul, deve ser liberada apenas na próxima segunda-feira.** 2014. Agência RBS. Disponível em: <http://anoticia.clicrbs.com.br/sc/geral/an-jaragua/noticia/2014/06/br-280-no-trecho-entre-corupa-e-sao-bento-do-sul-deve-ser-liberada-apenas-na-proxima-segunda-feira-4534629.html>. Acesso em: 09 set. 2016.

VICON SAGA. **Projetos.** Disponível em: <http://www.viconsaga.com.br/site/index.php?s=projects>. Acesso em: 25 jan. 2017.

WOLFF, C. S. **O método AHP – revisão conceitual e proposta de simplificação.** 2008. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica-rio, Rio de Janeiro, 2008.

YAHAYA, S. ASPRS ANNUAL CONFERENCE, 2008, Portland. **Multicriteria analysis for flood vulnerable areas in Hadejia-Jama'Are river basin, Nigeria.** Serdang Selangor, 2008. Disponível em: <http://info.asprs.org/publications/proceedings/portland08/0088.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2016.

YANG, J; SUN, H.; WANG, L. LI, L; WU, B. **Vulnerability Evaluation of the Highway Transportation System against Meteorological Disasters.** Procedia - Social and Behavioral Sciences, [s.l.], v. 96, p.280-293, nov. 2013. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.035.

APÊNDICE I

Mensuração da importância dos critérios através da metodologia Processo de Análise Hierárquica (AHP)

Nome: Caroline Helena Rosa Lopes
Formação: Geógrafa

Com o objetivo de mapear os pontos da BR-280/SC mais vulneráveis aos desastres naturais advindos da precipitação intensa, foram pré-estabelecidos critérios que possuem influência direta na vulnerabilidade ambiental da rodovia. A média da pontuação abaixo servirá como dado de entrada para a metodologia AHP.

1) Com base na sua experiência e na pontuação estabelecida por Saaty (1980), preencha a tabela abaixo de acordo com o grau de importância de um critério sobre o outro.
Obs: critérios iguais recebem o valor um (1).
Obs 2: Se altitude é 5x mais importante que a geologia, a geologia é 1/5x mais importante que a altitude.

Critérios	Altitude	Declividade	Pedologia	Geologia	Hidrografia	Precipitação	Vegetação
Altitude	1,00						
Declividade	7	1,00					
Pedologia	9	7	1,00				
Geologia	7	5	1/5	1,00			
Hidrografia	3	1/5	1/9	1/7	1,00		
Precipitação	9	7	1/5	1/3	5	1,00	
Vegetação	9	5	1/7	1/3	7	1	1,00

Valor	Definição	Explicação
1	Igualmente importante	Os dois critérios são igualmente importantes
3	Um pouco mais importante	A análise e a experiência mostram que um critério é ligeiramente mais importante que o outro
5	Muito mais importante	A análise e a experiência mostram que um critério é claramente mais importante que o outro
7	Fortemente mais importante	A análise e a experiência mostram que um critério é predominante para o objetivo
9	Extremamente mais importante	Sem qualquer dúvida um dos critérios é extremamente predominante para o objetivo
2,4,6,8	Valores intermediários	Também podem ser utilizados

2) Considerando os critérios Uso e Ocupação do Solo e VMD (Volume Médio Diário de tráfego), qual destes possui maior influência na vulnerabilidade? Estabeleça uma nota de 0 a 10, desde que a soma dos dois critérios seja dez. Ex. uso e ocupação do solo = 7 e VMD = 3

Uso e ocupação do solo: 8
VMD: 2

Mensuração da importância dos critérios através da metodologia Processo de Análise Hierárquica (AHP)

Nome: Diego Cathcart
Formação: Eng. Sanitarista e Ambiental

Com o objetivo de mapear os pontos da BR-280/SC mais vulneráveis aos desastres naturais advindos da precipitação intensa, foram pré-estabelecidos critérios que possuem influência direta na vulnerabilidade ambiental da rodovia. A média da pontuação abaixo servirá como dado de entrada para a metodologia AHP.

1) Com base na sua experiência e na pontuação estabelecida por Saaty (1980), preencha a tabela abaixo de acordo com o grau de importância de um critério sobre o outro.
Obs: critérios iguais recebem o valor um (1).
Obs 2: Se altitude é 5x mais importante que a geologia, a geologia é 1/5x mais importante que a altitude.

Critérios	Altitude	Declividade	Pedologia	Geologia	Hidrografia	Precipitação	Vegetação
Altitude	1,00	1/7	1/7	1/7	1/5	1/9	1/3
Declividade	7	1,00	1	3	1	1/5	4
Pedologia	7	1	1,00	3	3	1/5	7
Geologia	7	1/3	1/3	1,00	3	1/6	5
Hidrografia	5	1	1/3	1/3	1,00	1/5	1
Precipitação	9	5	5	6	5	1,00	9
Vegetação	3	1/4	1/7	1/5	1	1/9	1,00

Valor	Definição	Explicação
1	Igualmente importante	Os dois critérios são igualmente importantes
3	Um pouco mais importante	A análise e a experiência mostram que um critério é ligeiramente mais importante que o outro
5	Muito mais importante	A análise e a experiência mostram que um critério é claramente mais importante que o outro
7	Fortemente mais importante	A análise e a experiência mostram que um critério é predominante para o objetivo
9	Extremamente mais importante	Sem qualquer dúvida um dos critérios é extremamente predominante para o objetivo
2,4,6,8	Valores intermediários	Também podem ser utilizados

2) Considerando os critérios Uso e Ocupação do Solo e VMD (Volume Médio Diário de tráfego), qual destes possui maior influência na vulnerabilidade? Estabeleça uma nota de 0 a 10, desde que a soma dos dois critérios seja dez. Ex. uso e ocupação do solo = 7 e VMD = 3

VMD = 6 / uso e ocupação = 4

Mensuração da importância dos critérios através da metodologia Processo de Análise Hierárquica (AHP)

Nome: Luana Periotto Costa
Formação: Arquiteta e Urbanista – Esp. Gerenciamento de Projetos

Com o objetivo de mapear os pontos da BR-280/SC mais vulneráveis aos desastres naturais advindos da precipitação intensa, foram pré-estabelecidos critérios que possuem influência direta na vulnerabilidade ambiental da rodovia. A média da pontuação abaixo servirá como dado de entrada para a metodologia AHP.

1) Com base na sua experiência e na pontuação estabelecida por Saaty (1980), preencha a tabela abaixo de acordo com o grau de importância de um critério sobre o outro.
Obs: critérios iguais recebem o valor um (1).
Obs 2: Se altitude é 5x mais importante que a geologia, a geologia é 1/5x mais importante que a altitude.

Critérios	Altitude	Declividade	Pedologia	Geologia	Hidrografia	Precipitação	Vegetação
Altitude	1,00	1/9	1/7	1/7	1/7	1/9	1/7
Declividade	9	1,00	1/3	1/3	1/3	3	1/5
Pedologia	7	3	1,00	3	3	3	1/5
Geologia	7	3	1/3	1,00	1/3	3	1/5
Hidrografia	7	3	1/3	3	1,00	1/3	1/5
Precipitação	9	1/3	1/5	1/3	3	1,00	1/5
Vegetação	7	5	5	5	5	5	1,00

Valor	Definição	Explicação
1	Igualmente importante	Os dois critérios são igualmente importantes
3	Um pouco mais importante	A análise e a experiência mostram que um critério é ligeiramente mais importante que o outro
5	Muito mais importante	A análise e a experiência mostram que um critério é claramente mais importante que o outro
7	Fortemente mais importante	A análise e a experiência mostram que um critério é predominante para o objetivo
9	Extremamente mais importante	Sem qualquer dúvida um dos critérios é extremamente predominante para o objetivo
2,4,6,8	Valores intermediários	Também podem ser utilizados

2) Considerando os critérios Uso e Ocupação do Solo e VMD (Volume Médio Diário de tráfego), qual destes possui maior influência na vulnerabilidade? Estabeleça uma nota de 0 a 10, desde que a soma dos dois critérios seja dez. Ex. uso e ocupação do solo = 7 e VMD = 3

Uso e ocupação do solo=7
VMD=3

Mensuração da importância dos critérios através da metodologia Processo de Análise Hierárquica (AHP)

Nome: José Pedro Francisconi Junior
Formação: Mestre em Engenharia de Transportes; Especialista em Gestão Ambiental; Engenheiro Agrícola

Com o objetivo de mapear os pontos da BR-280/SC mais vulneráveis aos desastres naturais advindos da precipitação intensa, foram pré-estabelecidos critérios que possuem influência direta na vulnerabilidade ambiental da rodovia. A média da pontuação abaixo servirá como dado de entrada para a metodologia AHP.

1) Com base na sua experiência e na pontuação estabelecida por Saaty (1980), preencha a tabela abaixo de acordo com o grau de importância de um critério sobre o outro.
Obs: critérios iguais recebem o valor um (1).
Obs 2: Se altitude é 5x mais importante que a geologia, a geologia é 1/5x mais importante que a altitude.

Critérios	Altitude	Declividade	Pedologia	Geologia	Hidrografia	Precipitação	Vegetação
Altitude	1,00						
Declividade	3	1,00					
Pedologia	3	1	1,00				
Geologia	3	1	1	1,00			
Hidrografia	1	1/3	1/3	1/3	1,00		
Precipitação	3	3	1	1	5	1,00	
Vegetação	3	3	2	2	7	3	1,00

Valor	Definição	Explicação
1	Igualmente importante	Os dois critérios são igualmente importantes
3	Um pouco mais importante	A análise e a experiência mostram que um critério é ligeiramente mais importante que o outro
5	Muito mais importante	A análise e a experiência mostram que um critério é claramente mais importante que o outro
7	Fortemente mais importante	A análise e a experiência mostram que um critério é predominante para o objetivo
9	Extremamente mais importante	Sem qualquer dúvida um dos critérios é extremamente predominante para o objetivo
2,4,6,8	Valores intermediários	Também podem ser utilizados

2) Considerando os critérios Uso e Ocupação do Solo e VMD (Volume Médio Diário de tráfego), qual destes possui maior influência na vulnerabilidade? Estabeleça uma nota de 0 a 10, desde que a soma dos dois critérios seja dez. Ex. uso e ocupação do solo = 7 e VMD = 3

Uso e ocupação do solo__6_____
VMD__4_____

Mensuração da importância dos critérios através da metodologia Processo de Análise Hierárquica (AHP)

Nome: Rafael Higashi
Formação: Engenheiro Civil

Com o objetivo de mapear os pontos da BR-280/SC mais vulneráveis aos desastres naturais advindos da precipitação intensa, foram pré-estabelecidos critérios que possuem influência direta na vulnerabilidade ambiental da rodovia. A média da pontuação abaixo servirá como dado de entrada para a metodologia AHP.

1) Com base na sua experiência e na pontuação estabelecida por Saaty (1980), preencha a tabela abaixo de acordo com o grau de importância de um critério sobre o outro.
Obs: critérios iguais recebem o valor um (1).
Obs 2: Se altitude é 5x mais importante que a geologia, a geologia é 1/5x mais importante que a altitude.

Critérios	Altitude	Declividade	Pedologia	Geologia	Hidrografia	Precipitação	Vegetação
Altitude	1,00	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9
Declividade	9	1,00	1/7	1/7	1/5	1/5	1/5
Pedologia	9	7	1,00	1	1	1	1
Geologia	9	7	1	1,00	1	1	1
Hidrografia	9	5	1	1	1,00	1	1/9
Precipitação	9	5	1	1	1	1,00	1
Vegetação	9	5	1	1	9	1	1,00

Valor	**Definição**	**Explicação**
1	Igualmente importante	Os dois critérios são igualmente importantes
3	Um pouco mais importante	A análise e a experiência mostram que um critério é ligeiramente mais importante que o outro
5	Muito mais importante	A análise e a experiência mostram que um critério é claramente mais importante que o outro
7	Fortemente mais importante	A análise e a experiência mostram que um critério é predominante para o objetivo
9	Extremamente mais importante	Sem qualquer dúvida um dos critérios é extremamente predominante para o objetivo
2,4,6,8	Valores intermediários	Também podem ser utilizados

2) Considerando os critérios Uso e Ocupação do Solo e VMD (Volume Médio Diário de tráfego), qual destes possui maior influência na vulnerabilidade? Estabeleça uma nota de 0 a 10, desde que a soma dos dois critérios seja dez. Ex. uso e ocupação do solo = 7 e VMD = 3

Uso e ocupação do solo=5
VMD=5

APÊNDICE II

Classes		Média	Alta	Muito alta
		%	%	%
Altitude	100 a 200	7,2	34,1	80,6
	200 a 300	1,2	1,7	0,3
	300 a 400	1,0	1,0	-
	400 a 500	0,9	0,5	-
	500 a 600	0,9	0,5	-
	600 a 700	1,1	0,7	-
	700 a 800	43,7	18,9	4,7
	800 a 900	41,3	39,2	14,4
	900 a 1.000	2,9	3,4	-
	1.000 a 1.100	0,0	-	-
Declividade	Relevo plano	89,0	88,1	85,4
	Relevo suavemente ondulado	8,7	7,5	12,4
	Relevo ondulado	2,3	3,8	2,2
	Relevo fortemente ondulado	-	0,6	-
Geologia	Botucatú	2,7	3,2	-
	Campo Alegre, Formação Corupá	5,4	6,5	25,0
	Campo Alegre, outras formações	2,7	6,5	-
	Campo Mourão	2,7	3,2	12,5
	Complexo Granulítico Santa Catarina	10,8	9,7	37,5
	Depósitos aluvionares	27,0	22,6	12,5
	Depósitos litorâneos	2,7	3,2	-
	Granito Corupá	2,7	3,2	-
	Granito São Francisco do Sul	5,4	6,5	-
	Irati	2,7	3,2	-
	Palermo	2,7	3,2	-
	Rio Bonito	2,7	3,2	-

Classes		Média	Alta	Muito alta
		%	%	%
Geologia	Rio do Rasto	18,9	16,1	-
	Serra Alta	2,7	3,2	-
	Serra Geral	2,7	-	-
	Taciba	2,7	3,2	12,5
	Teresina	2,7	3,2	-
Pedologia	Areias Quartzosas Marinhas	0,2	1,7	-
	Cambissolo e Podzólico Vermelho-Amarelo	50,9	63,2	70,9
	Dunas e areias das praias	0,1	0,9	-
	Glei	12,9	13,1	19,4
	Latossolo Bruno/Bermelho	34,8	11,4	-
	Podzol	0,6	1,7	-
	Solos Aluviais	0,4	0,9	-
	Solos Indiscriminados	0,1	1,7	-
	Solos Litólicos	-	0,9	-
	Solos Orgânicos	-	3,5	9,7
	Terra Bruna Estruturada	-	0,9	-
Precipitação	1.559 a 1.708 mm	76,7	58,9	18,7
	1.709 a 1.841 mm	9,1	1,3	-
	1.842 a 1.993 mm	9,5	6,2	0,8
	1.994 a 2.173 mm	3,8	22,7	11,3
	2.174 a 2.350 mm	0,9	10,9	69,2
Vegetação	Campos com Capões…	-	9,1	33,3
	Campos de Inundações…	14,3	9,1	-
	Floresta Nebular	-	9,1	-
	Floresta Ombrófila Densa	57,1	36,3	33,3
	Floresta Ombrófila Mista	28,6	18,2	33,3
	Vegetação Litorânea	-	18,2	-

Classes		Média	Alta	Muito alta
		%	%	%
Uso e ocupação	Vegetação	50,5	42,2	17,1
	Massa d'água	2,1	3,2	1,8
	Área urbanizada	1,7	6,4	24,1
	Solo exposto/Agricultura	45,7	48,2	57,0
VMD	3.318 a 4.244	38,1	31,8	16,7
	5.190 a 6.080	23,8	22,7	8,3
	7.090 a 7.170	9,5	9,1	8,3
	9.080 a 10.860	23,8	22,7	41,7
	13.180	4,8	4,6	8,3
	21.750	-	9,1	16,7