

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC
BACHARELADO EM PLANEJAMENTO TERRITORIAL

André Luiz Martins Cotting

AVALIAÇÃO DE RISCO E VULNERABILIDADE A DESASTRES POR PROTOCOLOS
DE CAMPO E ÁRVORES DE CLASSIFICAÇÃO:

Uma análise quantitativa e qualitativa dos Planos Municipais de Redução de Riscos (PMRR)
de São Bernardo do Campo e Franco da Rocha (2020-2021)

São Bernardo do Campo, SP
2023

ANDRÉ LUIZ MARTINS COTTING

**AVALIAÇÃO DE RISCO E VULNERABILIDADE A DESASTRES POR PROTOCOLOS
DE CAMPO E ÁRVORES DE CLASSIFICAÇÃO:**

**Uma análise quantitativa e qualitativa dos Planos Municipais de Redução de Riscos (PMRR)
de São Bernardo do Campo e Franco da Rocha (2020-2021)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Bacharelado em Planejamento Territorial da
Universidade Federal do ABC, como requisito
para a obtenção do grau de Bacharel em
Planejamento Territorial.

Orientador: Profº Drº Vitor Vieira Vasconcelos.

Universidade Federal do ABC – UFABC
Bacharelado em Planejamento Territorial

São Bernardo do Campo
2023

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do ABC

Elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da UFABC com os dados fornecidos pelo autor

Cotting, André Luiz Martins

AVALIAÇÃO DE RISCO E VULNERABILIDADE A DESASTRES POR PROTOCOLOS DE CAMPO E ÁRVORES DE CLASSIFICAÇÃO: Uma análise quantitativa e qualitativa dos Planos Municipais de Redução de Riscos (PMRR) de São Bernardo do Campo e Franco da Rocha (2020-2021) / André Luiz Martins Cotting. — 2023.

46 fls. : il.

Orientador: Vitor Vieira Vasconcelos

Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade Federal do ABC, Bacharelado em Planejamento Territorial, São Bernardo do Campo, 2023.

1. desastres. 2. deslizamentos. 3. inundações. 4. vulnerabilidade. 5. risco. I. Vieira Vasconcelos, Vitor. II. Bacharelado em Planejamento Territorial, 2023. III. Título.

ANDRÉ LUIZ MARTINS COTTING

AVALIAÇÃO DE RISCO E VULNERABILIDADE A DESASTRES POR PROTOCOLOS DE CAMPO E ÁRVORES DE CLASSIFICAÇÃO: Uma análise quantitativa e qualitativa dos Planos Municipais de Redução de Riscos (PMRR) de São Bernardo do Campo e Franco da Rocha (2020-2021)

Este trabalho de conclusão de curso foi julgado e aprovado para obtenção de grau de Bacharel em Planejamento Territorial no curso de Bacharelado em Planejamento Territorial da Universidade Federal do ABC

4 de dezembro de 2023

Data de aprovação

Profª Drª Luciana Rodrigues Fagnoni Costa Travassos
Coordenadora do Bacharelado em Planejamento Territorial

Profº Drº Vitor Vieira Vasconcelos
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Profº Drº Christian Ricardo Ribeiro

Profº Drº Fernando Rocha Nogueira

Profº Drº Flávio Eduardo Aoki Horita

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à memória de todas as vidas vitimadas por desastres. Que a ciência seja um instrumento de produção da vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe e ao meu pai pela vida, pela subsistência e pelo acolhimento. Agradeço à minha irmã, pela companhia e pelo zelo. Às minhas tias e às minhas avós, de quem também sempre recebi muito carinho. A todas as professoras e professores de quem fui aluno na educação infantil e no ensino fundamental, especialmente ao Professor Fabiano, meu primeiro professor de História e Geografia, que estimulou minha afinidade pelas ciências humanas e sociais e suas relações com o espaço. A todas as professoras, professores e demais profissionais do Colégio Universitas, onde cursei o ensino médio, que muito contribuíram para minha formação curricular, ética e cidadã. Também agradeço a todas as professoras e professores do cursinho, que também contribuíram para meu ingresso na Universidade Federal do ABC.

Por falar em cursinho, não há como não lembrar de Luann. Espero que minha trajetória na universidade pública tenha sido digna da que teria sido a sua. Agradeço ao meu amigo Pedro Ycaro, por meio de quem conheci a UFABC, pela tutela que teve comigo ao longo da minha graduação. Estendo esse agradecimento aos demais amigos com quem compartilhei o lar nesses anos todos. Agradeço às demais amizades que fiz na UFABC. Agradeço também aos amigos que fiz no Parque Pignatari, um ambiente muito importante para minha saúde física e mental nesses anos e para a minha conscientização sobre a importância das áreas verdes nas cidades e dos equipamentos públicos de esporte e lazer. Agradeço ao meu psicoterapeuta Adalberto, que foi essencial para minha resiliência psíquica durante o período em que estive distante da UFABC, devido à pandemia.

Agradeço ao movimento sindical do Grande ABC Paulista, que concebeu a criação de uma universidade pública, gratuita e de qualidade na região, o que só ocorreu quando uma liderança política formada por esse movimento se tornou Presidente da República, criando também tantas outras universidades federais, ampliando e democratizando o acesso ao ensino superior público como “nunca antes na história deste país”. Agradeço à Universidade Federal do ABC, pela formação acadêmica, pela assistência estudantil e por um projeto pedagógico tão permissivo, que me deu a oportunidade de “conhecer o caminho andando”. Ao Professor Fernando Cassio, pela orientação acadêmica no início da minha graduação e por me encorajar a seguir minha vocação. À Professora Luciana Travassos, por ter despertado o meu interesse pelo Planejamento Territorial e pela escuta em momentos-chave da minha trajetória acadêmica e profissional. Às demais professoras e professores da Universidade Federal do ABC, em especial do Bacharelado em Planejamento Territorial, por promoverem um ambiente de ensino tão estimulante.

Agradeço à Secretaria de Planejamento e Gestão Pública da Prefeitura de Diadema, onde realizei estágio, que muito contribuiu para o meu aprimoramento acadêmico e profissional. Ao meu amigo Nelson, de quem fui quase um aluno, de tanto que me ajudou a melhorar minhas competências acadêmicas. Agradeço a toda a equipe do LabGRis, pela oportunidade de fazer parte de um grupo de pesquisa exemplar na indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão, e por ser um ambiente de trabalho e de convivência tão agradável. Ao Professor Vitor, que é uma referência em interdisciplinaridade, por ter me convidado para fazer este trabalho tão desafiador e pelo apoio que me deu em todo o trabalho. Agradeço também ao Programa de Iniciação Científica da UFABC, que financiou a bolsa por meio da qual comecei a fazer este trabalho.

*“Por essas terras caminharam pés
Que nos guiaram pelo bom caminho
Mesmo cansados não desanimaram
Seguindo lado a lado com os de pés descalços
Rompendo morros, serras e colinas
O teu caminho cedo completou
Mas não sem antes nos presentear
Com o sentido, o rumo, a direção do que virá”
Juarez Bolivar (heterônimo de Rafael Costa e
Silva)*

RESUMO

A maioria das metodologias de avaliação de risco de desastre foi desenvolvida por profissionais de ciências naturais. O Quadro de Sendai da ONU reconhece a necessidade de incluir nesses métodos as complexas conexões intercalares dos processos físicos com a vulnerabilidade social, especialmente em países em desenvolvimento. Este trabalho teve como objetivo analisar a experiência de inclusão de informações de vulnerabilidade social em protocolos de campo dos Planos Municipais de Redução de Riscos (PMRR) de São Bernardo do Campo e Franco da Rocha (2020-2021). Estruturou-se uma base de dados georreferenciados com os dados dos protocolos de campo sobre os setores de risco e, em seguida, analisou-se a relação entre vulnerabilidade e risco por meio do método de árvore de classificação. Os resultados mostraram que as variáveis do meio físico e de vulnerabilidade social relevantes para a atribuição de risco são em grande parte sobrepostas sobre os mesmos setores, mas que a análise integrada das duas permite uma interpretação melhor do nível de risco. Todavia, os modelos com as informações dos protocolos de campo não devem substituir uma avaliação holística mais ampla por parte do especialista, em campo. Por fim, são tecidas reflexões qualitativas sobre as limitações e potencialidades da inclusão dos aspectos de vulnerabilidade no estudo de caso analisado.

Palavras-chave: desastres, deslizamentos, inundações, vulnerabilidade, risco

ABSTRACT

Most disaster risk assessment methodologies were developed by natural science professionals. The UN Sendai Framework confirms the need to include these methods as interweaving complex networks of socially vulnerable financial processes, especially in developing countries. This work aimed to analyze the experience of including social vulnerability information in field protocols of the Municipal Risk Reduction Plans (PMRR) of São Bernardo do Campo and Franco da Rocha (2020-2021). A georeferenced database was structured with data from field protocols on risk sectors and then the relationship between vulnerability and risk was analyzed using the classification tree method. The results show that the geotechnical and social vulnerability variables relevant to risk attribution are largely overlapping over the sectors, but that the integrated analysis of the two dimensions allows a better interpretation of the risk level. However, the models with information from field protocols cannot replace a broader holistic assessment by the specialist in the field. Finally, qualitative reflections are made on the limitations and potential of including aspects of vulnerability in the specific case study.

Keywords: disasters, landslides, floods, vulnerability, risk

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1 – Autor do trabalho em campo em Franco da Rocha

18

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Proposta conceitual de partição de variância	29
Gráfico 2 – Árvore de decisão	35
Gráfico 3 – Partição da variância entre os modelos 4 (apenas atributos do meio físico), 5 (apenas variáveis de vulnerabilidade social) e 6 (todas as variáveis), abrangendo Franco da Rocha e São Bernardo do Campo	36

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 – Setores de risco em Franco da Rocha	21
Mapa 2 – Setores de risco em São Bernardo do Campo	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos setores de risco	24
Tabela 2 – Divisão entre Variáveis Predictoras do meio físico e de Vulnerabilidade Social	25
Tabela 3 – <i>Somers’</i> Delta dos modelos de árvore de classificação	31
Tabela 4 – Matriz de Confusão do Modelo 6	32
Tabela 5 – Índice de importância de variáveis	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
GIS	<i>Geographic Information System</i>
GRASS	<i>Geographic Resources Analysis Support System</i>
HIS	Habituação de Interesse Social
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IG	Instituto Geológico
IPVS	Índice Paulista de Vulnerabilidade Social
LabGRis	Laboratório de Gestão de Riscos
MCID	Ministério das Cidades
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDR	Ministério de Desenvolvimento Regional
OGU	Orçamento Geral da União
ONU	Organização das Nações Unidas
PMRR	Plano Municipal de Redução de Riscos
PNPDEC	Política Nacional de Prevenção e Defesa Civil
PPDC	Plano Preventivo de Defesa Civil
QGIS	<i>Quantum Geographic Information System</i>
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SAGA	<i>System for Automated Geoscientific Analyses</i>
SEADE	Sistema Estadual de Análise de Dados
UHCT	Unidades Homogêneas de Uso e Cobertura da Terra
VANT	Veículos Aéreos Não Tripulados
ZEIS	Zona Especial de Interesse Social

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. DESENVOLVIMENTO	16
2.1. PLANOS MUNICIPAIS DE REDUÇÃO DE RISCOS (PMRR) DE SÃO BERNARDO DO CAMPO E FRANCO DA ROCHA (2020-2021): ANTECEDENTES, JUSTIFICATIVA, METODOLOGIA E ELABORAÇÃO	16
2.2. MATERIAIS E MÉTODOS	18
2.2.1. BASE DE DADOS GEOGRÁFICOS	18
2.2.2. MODELAGEM DOS DADOS	22
2.3. RESULTADOS	30
3. CONCLUSÃO	37
4. REFERÊNCIAS	39

1. INTRODUÇÃO

O Marco de Sendai para Redução de Riscos de Desastres, endossado em 2015 pela Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU), estabelece como metas para 2030 aumentar o número de países com estratégias nacionais e locais para redução do risco de desastres, bem como ajudar os países em desenvolvimento na implementação de tais estratégias (ONU, 2015). Ao desenvolver estratégias para redução do risco de desastres, a atenção principal deve ser dada à compreensão dos riscos, considerando, entre outros aspectos, o nível de vulnerabilidade social, especialmente nas periferias (Canil et al., 2020). Inicialmente, nas últimas décadas, foram desenvolvidas estratégias de avaliação natural do risco de desastres, principalmente por profissionais de geotecnia e geologia (Mendonça et al., 2023), mas com pouca atenção aos aspectos sociais. Atualmente, passamos de um paradigma tecnocrático, focado em soluções tecnológicas e julgamentos de especialistas, para uma perspectiva que incorpora mais aspectos sociais (Nogueira et al., 2018). Contudo, avaliar a vulnerabilidade social representa um grande desafio nos países em desenvolvimento devido à falta de conhecimento e recursos (Marchezini, 2017).

As listas de verificação padronizadas para avaliação de risco de desastres foram desenvolvidas com foco em informações do meio físico e de engenharia (Mendonça et al., 2023). Essa prática se enquadra nos métodos mais gerais de protocolos de avaliação rápida de campo, amplamente utilizados no planejamento ambiental (Vasconcelos et al., 2013; Vasconcelos, 2014), mas também com aplicações em planejamento rural e urbano (Brose, 2001). Nos protocolos de avaliação de campo, podem ser identificadas algumas características frequentes. Geralmente, a metodologia envolve uma preparação de dados secundários em escritório, uma visita de um dia (ou algumas horas) ao local estudado, e uma posterior sistematização dos dados em escritório novamente (Fenesty et al., 2007). O levantamento de informações normalmente é realizado em pontos representativos (ou seja, não é um levantamento de amostragem sistemática extensiva) e em geral é focado em informações qualitativas visuais (embora alguns casos possam contar com instrumentos de medição simples) guiados por uma escala de níveis graduais. A repetição sistemática do procedimento de avaliação rápida permite estender o monitoramento de forma padronizada ao longo do espaço e do tempo, mesmo quando realizado por equipes diferentes.

Os protocolos de avaliação rápida podem ser uma ferramenta importante como um levantamento preliminar, de forma a planejar melhor a alocação de recursos para diagnósticos posteriores mais aprofundados (Alonso et al., 2011). Eles também são úteis para uniformização de procedimentos de visitas de campo de equipes profissionais, garantindo eficiência e equidade na avaliação de riscos e impactos (Vasconcelos, 2014). Os protocolos de avaliação rápida de campo também têm sido utilizados como recursos didáticos, desde o ensino básico (Guimarães et al., 2017) até o nível superior (Callisto et al., 2002), podendo também ser utilizados para cursos rápidos de treinamento e aperfeiçoamento profissional. Nesses casos, a metodologia permite guiar a atenção dos estudantes para aspectos relevantes durante o trabalho de campo, além de fornecer uma base de dados para análise a partir da sistematização da coleta dos diferentes grupos.

O uso de listas de verificação padronizadas de campo também possui um longo histórico de uso na identificação e caracterização de riscos do meio físico (Brasil; IPT, 2007) e da necessidade de auxílio humanitário (ONU, 2013), no contexto dos instrumentos de gestão de riscos de desastres. Seu uso tem se dado no treinamento de profissionais de defesa civil, bem como na formação de profissionais de nível superior para atuação na área de redução de riscos de desastres. Operacionalmente, essas listas são utilizadas por órgãos de defesa civil em suas visitas de campo, bem como na elaboração de Planos Municipais de Redução de Riscos (PMRRs), para atribuição do grau de risco para cada setor visitado. Após a identificação das

informações sobre o setor de estudo, o aplicador faz uma reflexão qualitativa holística sobre as informações levantadas e atribui um grau de risco, bem como indica as ações que deveriam ser realizadas para mitigar o risco (Brasil; IPT, 2007).

Este trabalho teve como objetivo avaliar a inserção de elementos de vulnerabilidade social nas listas de verificação padronizadas de campo para avaliar o risco de desastres provocados por movimentos de massa e inundações. Toma-se como estudo de caso a elaboração dos PMRR de São Bernardo do Campo e Franco da Rocha nos anos de 2020 e 2021, ambos na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Apresenta-se como a construção de bases de dados espaciais e sua análise por algoritmos de inteligência artificial podem ser úteis para subsidiar reflexões qualitativas quanto aos potenciais, limitações e possíveis aprimoramentos das atividades sobre redução de riscos de desastres.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. PLANOS MUNICIPAIS DE REDUÇÃO DE RISCOS (PMRR) DE SÃO BERNARDO DO CAMPO E FRANCO DA ROCHA (2020-2021): ANTECEDENTES, JUSTIFICATIVA, METODOLOGIA E ELABORAÇÃO

A ocupação de áreas ambientalmente frágeis por famílias de baixa renda caracterizou a urbanização brasileira, tal como em diversos outros países, especialmente os mais pobres ou em desenvolvimento (Groeschl; Noy, 2020). Os sítios geográficos mais propensos à ocupação foram apropriados pelo mercado imobiliário e também foram dotados de infraestrutura urbana, conformando um ciclo de retroalimentação entre acumulação de capital imobiliário e ordenamento territorial excludente (Villaça, 1986). Tal padrão de urbanização foi acentuado pela inconsistência da política habitacional em garantir Habitação de Interesse Social (HIS) segura às famílias de baixa renda (Bonduki, 2014). Ao passo que perdurava a leniência do Estado em atender a demanda habitacional da população de baixa renda, as periferias urbanas se consolidaram, de tal maneira que a urbanização de assentamentos precários se tornou indispensável para a política habitacional e o planejamento urbano (Cardoso; Denaldi, 2018).

As primeiras políticas públicas locais de urbanização de favelas surgiram em meio à redemocratização do Estado brasileiro nos anos 1980 (Bonduki, 2014; Cardoso; Denaldi, 2018), algumas das quais com atenção específica ao gerenciamento de riscos (Nogueira, 2002). A nível federal, os programas de urbanização de favelas só adquirem maior importância na política habitacional a partir da criação do Ministério das Cidades (MCID), em 2003. Nesse momento, a “Prevenção e Erradicação de Riscos em Assentamentos Precários” é instituída como ação específica do Programa de Urbanização, Regularização e Integração de Assentamentos Precários, tendo como uma de suas atividades principais o apoio à elaboração de Planos Municipais de Redução de Riscos (PMRR) (Brasil, 2006).

O PMRR possui as seguintes fases: (1) elaboração da metodologia; (2) atualização do mapeamento de risco em escala de detalhe (1:2.000 ou maior) (Nogueira; Canil, 2018b); (3) proposição de intervenções estruturais para redução do risco; (4) estimativa dos custos das intervenções; (5) definição de critérios para hierarquização das intervenções; (6) identificação de programas e fontes de recursos para investimentos; (7) sugestão de medidas não estruturais para atuação da Defesa Civil; (8) realização de audiência pública (Brasil, 2006). Por ser um instrumento de gestão de riscos que incide sobre a etapa de prevenção de desastres (Kusumasari et al., 2010), o PMRR atende a algumas diretrizes estabelecidas pelo Marco de Sendai para Redução de Riscos de Desastres (Mendonça et al., 2023).

As políticas federais de gestão de riscos arrefeceram depois dos primeiros anos do MCID. Contudo, os efeitos do desastre provocado por movimentos de massa na Região Serrana do Rio de Janeiro em 2011 demandaram a adoção de medidas incisivas por parte do Governo Federal (Nogueira; Canil, 2018a). No ano seguinte, foi criada a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) (Brasil, 2012a), que estabeleceu o Cadastro Nacional de Municípios com Áreas Suscetíveis à Ocorrência de Deslizamentos de Grande Impacto, Inundações Bruscas ou Processos Geológicos ou Hidrológicos Correlatos (Brasil, 2021), o qual tornou o mapeamento de riscos obrigatório para os municípios cadastrados como de maior risco a desastres. No mesmo período, o Governo Federal alocou recursos do Orçamento Geral da União (OGU) para a gestão de riscos e desastres no Plano Plurianual de 2012-2015 (Brasil, 2012b) e atribuiu ações e programas transversais nesse tema a diversos ministérios (Nogueira; Canil, 2018a).

Os novos marcos regulatórios e programas federais inovaram ao propor políticas públicas interfederativas que evoluíram da “resposta ao desastre” para a “prevenção aos desastres” (Nogueira et al., 2014; Nogueira; Canil, 2018a). Como resultado, 729 municípios haviam elaborado seus Planos Municipais de Redução de Riscos até 2020 (IBGE, 2020). Também foi criado o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), que monitora 959 municípios brasileiros com histórico de ocorrência de desastres associados a movimentos de massa e inundação (CEMADEN, 2023). Um desses municípios é São Bernardo do Campo, que registrou 2.979 ocorrências de eventos geodinâmicos (que caracterizam desastres) entre 1993 e 2013 (IG, 2017). Por sua vez, Franco da Rocha registrou 502 ocorrências de desastres entre 2002 e 2016 (UFABC, 2020), apesar de não ser monitorado pelo CEMADEN.

Em 2019, o Ministério de Desenvolvimento Regional (MDR) (que assumiu as funções do MCID após a extinção deste no mesmo ano) firmou um Termo de Cooperação Técnica junto à Universidade Federal do ABC (UFABC) para elaboração dos PMRR de Franco da Rocha e São Bernardo do Campo. A metodologia e a elaboração dos PMRR de ambos os municípios foram desenvolvidas pelo Laboratório de Gestão de Riscos (LabGRis), que reúne pesquisadores, docentes e discentes de graduação e pós-graduação da UFABC, em perspectiva interdisciplinar e multiprofissional. Desde 2014, o LabGRis realiza diversas ações de ensino, pesquisa e extensão nas áreas de construção social do risco (Canil et al., 2022), gestão de riscos em escala local e regional (Nogueira et al., 2014) e cartografias de risco (Sulaiman et al., 2022), tendo elaborado, inclusive, a Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização de São Bernardo do Campo (Nogueira; Canil, 2018b). A partir dessa experiência acumulada, o LabGRis identificou a necessidade de introduzir elementos de mensuração da vulnerabilidade social no mapeamento de riscos em escala de detalhe, propondo uma revisão metodológica na elaboração do PMRR (Nogueira et al., 2018), tendo os municípios de Franco da Rocha e São Bernardo do Campo como locais de aplicação da metodologia desenvolvida. O autor e o orientador deste trabalho participaram da equipe executiva da UFABC que elaborou os PMRR de Franco da Rocha e São Bernardo do Campo, entre 2020 e 2021.

Uma das etapas do PMRR foi a atualização de um protocolo de campo que inclui uma lista padronizada de verificação em campo, preliminar à atribuição do grau de risco a cada setor analisado. Utilizou-se como base a ficha de campo utilizada desde 2014 pela equipe do LabGRis em atividades didáticas de formação de estudantes de graduação e projetos de extensão universitária. Primeiramente, a ficha de campo foi revisada e atualizada com base nas fichas de campo de Brasil (2006) e Brasil (2007), bem como na experiência acadêmica e aplicada dos diversos participantes do projeto.

Após a validação do protocolo e ficha de campo, foram realizadas atividades de simulação de campo para treinamento da equipe. Em seguida, foram realizados voos de VANT (Veículos Aéreos Não Tripulados) para obtenção de fotos oblíquas das vertentes dos setores a serem visitados, permitindo a preparação para a visita de campo. Também foi realizada uma ficha de apoio de campo para cada área visitada, contendo informações secundárias sobre geologia, geomorfologia, suscetibilidade a desastres, histórico de ocorrências de desastres, densidade construtiva, sistema viário, áreas de preservação permanente, índice paulista de vulnerabilidade social, proximidade de equipamentos de saúde e de educação, e zoneamento do plano diretor municipal. De setembro de 2020 a janeiro de 2021, duas equipes de campo visitaram e avaliaram 232 setores de risco em Franco da Rocha e 126 setores de risco em São Bernardo do Campo (Imagem 1). Para cada um dos setores, foi preenchida uma ficha de campo e os limites dos setores foram agregados em uma base de dados geográficos. Todas as etapas do PMRR contaram com a colaboração dos departamentos de defesa civil municipais e com representantes das comunidades mapeadas.

Imagem 1 – Autor do trabalho em campo em Franco da Rocha.



Fonte: LabGRis (2020).

Pondera-se que a elaboração dos PMRR de São Bernardo do Campo e Franco da Rocha (2020-2021) se deu durante a emergência sanitária provocada pela pandemia de COVID-19. As medidas de isolamento e distanciamento social para conter o vírus da COVID-19 comprometeram muitas atividades. Como exemplo, destaca-se as avaliações de campo para treinamento da equipe do LabGRis, antes das avaliações para setorização e classificação de riscos, fundamentais para pesquisadores sem experiência prévia em mapeamento de riscos, como era o caso do autor deste trabalho. Por sua vez, as avaliações para setorização e classificação de riscos foram realizadas antes do início da imunização contra a COVID-19, exigindo a adoção de protocolos sanitários rigorosos durante o mapeamento, de modo que tenha sido limitado o tempo despendido pela equipe de pesquisadores nos mapeamentos, bem como a interação destes com moradores locais, equipes de Defesa Civil e gestores da administração municipal, principalmente das áreas de Habitação, Desenvolvimento Urbano, Meio Ambiente, Saúde e Assistência Social, entre outras.

2.2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.2.1. BASE DE DADOS GEOGRÁFICOS

Na primeira etapa deste trabalho, os dados das fichas de campo foram compilados e unificados em uma base de dados geográficos, em que, para cada polígono de setor de risco visitado, torna-se possível obter, em uma tabela de atributos, as informações levantadas na ficha de campo. Essa base de dados está sendo compartilhada com os departamentos de Defesa Civil de São Bernardo do Campo e de Franco da Rocha, como um aspecto de extensão desta pesquisa. Com essa base de dados, os profissionais dessas prefeituras poderão ter mais autonomia para visualização e atualização dos dados de seus setores de risco.

As tabelas de atributos elaboradas possuem 213 variáveis (colunas). Cada variável corresponde a um atributo da ficha de campo ou da ficha de apoio de campo. As observações (linhas) das tabelas de atributos correspondem aos setores de risco, sendo 126 em São Bernardo do Campo e 232 em Franco da Rocha. Foi feito um layout de tabela para identificar a correspondência entre tabela de atributos e fichas de campo ou ficha de apoio de campo. Tal

correspondência é necessária porque os cabeçalhos das colunas possuem limitação de dez caracteres na extensão *shapefile*, que é o mais usual para camadas vetoriais. Essa prática é comum em bases de dados geográficos e também contribui para facilitar a compreensão das informações pelas pessoas que irão usar as tabelas de atributos.

Outra utilidade do layout de tabela é a representação numérica de variáveis categóricas ordinais, tais como: Condições de Acesso, Tipo Predominante de Construção, Densidade de Ocupação (campo), Vertente e Sistemas de Drenagem Superficial. No caso da primeira variável, as fichas de campo não indicavam opções de preenchimento, de modo que as equipes de campo atribuíram classificações qualitativas sem parâmetro de ordenação. No caso das demais variáveis, mesmo com parâmetro de ordenação, há mais de uma opção de preenchimento marcada em algumas fichas de campo. Isso também ocorreu com as variáveis Declividade Média (campo) e Declividade Média (pós-campo), que, apesar de serem quantitativas, foram preenchidas em intervalos de graus. No entanto, mais de um intervalo foi preenchido em algumas fichas de campo. Em todos os casos supracitados, foi priorizada a condição de maior vulnerabilidade no preenchimento das tabelas de atributos. As adaptações adotadas no preenchimento das tabelas de atributos possibilitaram maior padronização e hierarquização dos dados. Por outro lado, reduziram a precisão das tabelas de atributos em relação às fichas de campo.

Após a elaboração do layout de tabela e o preenchimento das tabelas de atributos, o preenchimento de cada campo das tabelas de atributos, de cada município, foi avaliado para identificar necessidades e possibilidades de melhorias no preenchimento das tabelas de atributos. A partir da avaliação, identificou-se a necessidade de preencher alguns campos da tabela de atributos com informações das fichas de apoio de campo, porque algumas variáveis das tabelas de atributos correspondem a dados secundários contidos nessas fichas. Esses dados também foram georreferenciados na elaboração do PMRR, mas nos limites espaciais dos planos de voo de VANT, que são diferentes dos setores de risco. Então foi feito o cruzamento dos dados secundários com as camadas vetoriais dos setores de risco, para ter a informação dos dados secundários delimitada por setor de risco, que é a unidade espacial de análise deste estudo. Esse processo possibilitou preencher algumas lacunas indicadas nas avaliações do preenchimento das tabelas de atributos. Desse modo, as variáveis ZEIS e IPVS foram preenchidas pelo cruzamento dos dados secundários com as camadas vetoriais dos setores de risco.

Também foram adicionadas algumas variáveis às tabelas de atributos que estavam somente nas fichas de apoio de campo. Tal como no caso das variáveis já contidas nas fichas de campo, o cruzamento dos dados também foi feito com a camada vetorial dos setores de risco. As variáveis adicionadas foram: Densidade de Ocupação, Estágio de Ocupação e Ordenamento Urbano (CPLA; IG, 2014), Geomorfologia, Geologia, Suscetibilidade a Movimentos de Massa, Suscetibilidade a Inundação, Declividade, Aspecto, Rugosidade, Curvatura e Acumulação.

Para as ZEIS, o procedimento realizado foi a seleção por localização de feições dos setores de risco que interseccionam ou contêm as camadas de ZEIS dos municípios. Em São Bernardo do Campo, a seleção por localização foi feita somente com as ZEIS 1, que são áreas ocupadas predominantemente por populações de baixa renda. As ZEIS 2 são áreas não edificadas ou subutilizadas (São Bernardo do Campo, 2011), que não foram consideradas para avaliação de risco no PMRR. Em Franco da Rocha, há somente um tipo de ZEIS (Franco da Rocha, 2007). Depois da seleção por localização, a variável ZEIS das feições selecionadas foi preenchida com 1 se o setor de risco estava em ZEIS e 0 se não estava.

Para o IPVS, o procedimento realizado foi a conversão da camada vetorial do IPVS em camada *raster*, com resolução de 1.000 x 1.000 pixels, tendo como campo a usar para o valor *burn-in* o IPVS por setor censitário. Depois foi calculada a estatística zonal a partir do valor

médio do IPVS, tendo, como camada de entrada, as camadas dos setores de risco. Como resultado, alguns setores tiveram, como valores de IPVS, números reais que estão entre as classes do IPVS, que vão de 1 a 7. Nesses casos, há mais de um setor censitário e com valores diferentes de IPVS sobre o setor de risco. No entanto, os setores censitários com classe 7 no IPVS foram considerados como classe 5, pois ambas as classes correspondem à vulnerabilidade alta. A diferença entre ambas as classes consiste em que a classe 5 corresponde a setores censitários urbanos não especiais e a classe 7 corresponde a setores censitários rurais (SEADE, 2010). Embora seja relevante comparar a avaliação de risco entre setores censitários urbanos não especiais de alta vulnerabilidade e setores censitários rurais de alta vulnerabilidade, o modelo de análise quantitativa de risco não é capaz de interpretar que a vulnerabilidade social das classes 5 e 7 são ambas altas, o que reforça a limitação da avaliação de risco exclusivamente pela associação estatística entre os atributos de campo.

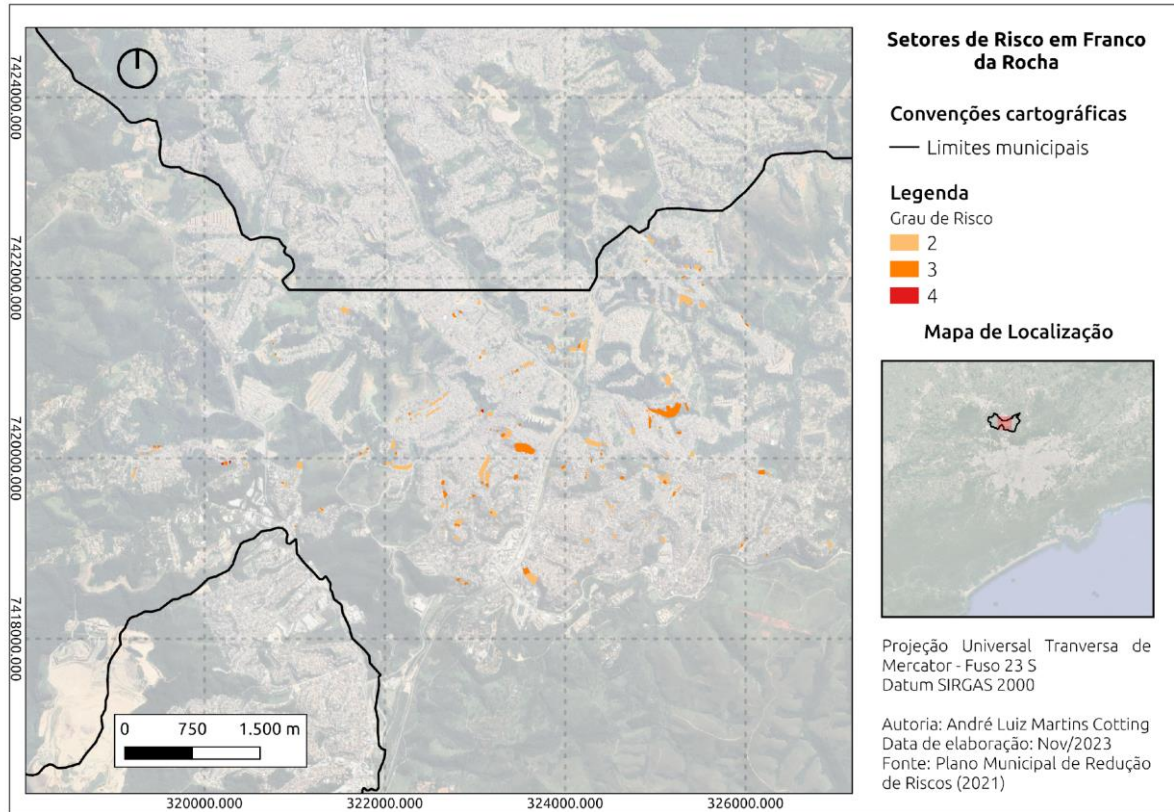
O mesmo procedimento foi feito para obter a Densidade de Ocupação, o Estágio de Ocupação, o Ordenamento Urbano, a Geomorfologia, a Geologia, a Suscetibilidade a Movimentos de Massa e a Suscetibilidade à Inundação. Porém, antes foi criada uma coluna para que o valor categórico dessas variáveis fosse convertido em valor numérico e pudesse ser usado como valor *burn-in*. Depois, também foi feita a conversão das camadas vetoriais em camadas *raster*, com resolução de 1.000 x 1.000 pixels. O cálculo da estatística zonal foi feito a partir da média, para Densidade de Ocupação, Estágio de Ocupação, Ordenamento Urbano, Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Suscetibilidade à Inundação. Como resultado, alguns setores também tiveram, como valores para essas variáveis, números reais que estão entre os números inteiros criados para representar os valores categóricos dessas variáveis. Nesses casos, há mais de um valor categórico para essas variáveis sobre o setor de risco. Já para Geomorfologia e Geologia, o cálculo da estatística zonal foi feito a partir da moda, pois são variáveis categóricas nominais. Desse modo, nos setores de risco onde há mais de um domínio geomorfológico ou geológico, foi considerado o domínio predominante.

A declividade, o aspecto e a rugosidade foram obtidos a partir do conjunto de ferramentas “*Raster de análise do terreno*”, da caixa de ferramentas do QGIS, tendo como parâmetros o Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado pela equipe do PMRR durante sua elaboração. Os demais parâmetros foram os valores padrões dessas ferramentas. A curvatura foi gerada a partir da ferramenta “*slope, aspect, curvature*”, do complemento “*SAGA GIS provider*”, tendo como parâmetros o mesmo MDE e os valores padrões da ferramenta. Os valores de declividade, aspecto, rugosidade e curvatura foram inseridos nas tabelas de atributos dos setores de risco pela estatística zonal das camadas *raster* geradas, a partir do valor médio.

Para obter o valor da acumulação, primeiramente, foram preenchidas eventuais depressões espúrias do MDE, para evitar erros no valor da acumulação, o que foi feito nas opções de análise encontrada na seção “*Raster*”, na barra superior do QGIS. Depois foi usada a ferramenta “*r.watershed*”, do complemento “*GRASS GIS provider*”, com tamanho mínimo 500 para o exterior da bacia. Os demais parâmetros foram os valores padrões da ferramenta. Os valores gerados foram inseridos nas tabelas de atributos dos setores de risco pela estatística zonal das camadas *raster* geradas, a partir do valor médio.

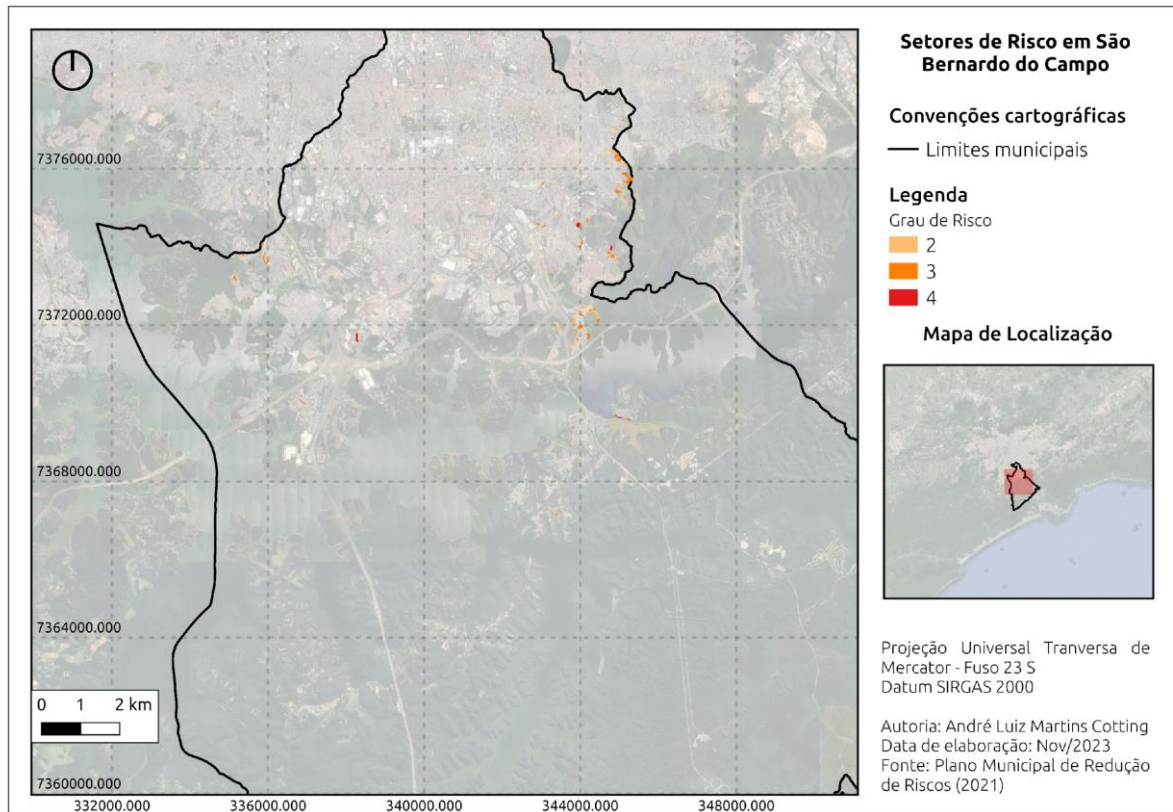
Após a complementação das tabelas de atributos com os dados secundários, as variáveis foram definidas como atributos do meio físico ou de vulnerabilidade. Os Mapas 1 e 2 apresentam os setores de risco de Franco da Rocha e São Bernardo do Campo, respectivamente.

Mapa 1: Setores de risco em Franco da Rocha.



Fonte: Elaboração própria, a partir de dados do PMRR (2020-2021).

Mapa 2 – Setores de risco em São Bernardo do Campo.



Fonte: Elaboração própria, a partir de dados do PMRR (2020-2021).

2.2.2. MODELAGEM DOS DADOS

Os dados obtidos das fichas de campo apresentam quantidades bem distintas de dados faltantes, que não foram preenchidos. Uma distinção essencial é que esses dados não estão faltantes de maneira aleatória (*missing at random*). Entre os motivos do não preenchimento de certos itens das planilhas de campo, alguns dos mais usuais foram:

- Não haver possibilidade de acesso em campo para levantar a informação.
- Não aplicabilidade da informação no contexto do setor analisado.
- Não priorização do levantamento da informação para análise do risco no setor, levando em consideração tanto o contexto específico do setor quanto também o tempo limitado para as campanhas de campo.
- Dificuldade técnica da equipe de campo para caracterizar o item com segurança. Tentou-se minimizar esse fator com o treinamento da equipe, especialmente para as novas variáveis, menos convencionais, de vulnerabilidade social.

Dessa forma, em virtude de os dados faltantes não estarem dispostos aleatoriamente (*missing at random*), algoritmos que tentam imputar (estimar) esses dados faltantes com valores similares, levando em conta outros dados do setor ou de outros setores, tenderiam a ser tendenciosos e incertos (Rubin, 1976; Enders, 2022). Além disso, o fato de algumas variáveis terem quase todos os seus dados faltantes torna a sua inferência ainda mais difícil e insegura. Por isso, métodos de preenchimento de falha como interpolação, maximização de expectância, imputação múltipla por regressões ou algoritmos de aprendizagem de máquina (como *random*

forests, redes neurais, *boosting*, entre outros) não seriam adequados (Rubin, 1976; Enders, 2022). Nesse contexto, foi escolhido utilizar o método de árvores recursivas de particionamento (*partitioning recursive trees* - PART) (Therneau et al., 2023a), do grupo mais geral de Árvores de Classificação (Breiman et al., 1984), pois em vez de tentar estimar um valor para os dados faltantes, ele considera a ausência de valor como uma classe extra, ao lado das demais informações de cada observação de campo. Além disso, o algoritmo PART também consegue usar informações de variáveis que permitem partições semelhantes à variável com o dado faltante (*surrogate splits*), aprimorando a classificação (Therneau et al., 2023b). Foram utilizados os parâmetros padrões do PART para evitar o sobreajustamento, sendo o parâmetro de complexidade (*complexity parameter* – cp) igual a 0,1; o menor número de casos em um ramo para gerar uma ramificação sendo igual a 20 casos; o menor número de casos em um nó terminal da árvore igual a 6; 10 validações cruzadas; e número máximo de *surrogate splits* de 5 para cada ramificação, como recomendado por Therneau et al. (2023b).

Cabe mencionar que Nogueira e Canil (2015; 2016; 2017) usaram o método de árvores de classificação para definição de níveis de risco em mapeamentos de aptidão à urbanização para oito municípios da Região Metropolitana de São Paulo, incluindo São Bernardo do Campo, e que Silva (2022) adaptou esse mesmo método para mapear os níveis de risco de aptidão à urbanização para Franco da Rocha. Todavia, essas árvores de decisão foram definidas de maneira qualitativa, com base na experiência de campo dos moradores, usando as bases espaciais de declividade, geomorfologia, e geologia, e não fizeram uma calibração quantitativa como a do método PART, utilizado neste estudo. Além disso, as cartas de aptidão à urbanização são realizadas em uma escala de semidetalhe (1:10.000), menos detalhadas do que a dos setores de risco (1:2.000). Estas têm acesso a diversas outras informações, coletadas em campo, setor a setor.

A variável predita (grau de risco) nos modelos é de natureza ordinal (grau 1, 2, 3 ou 4), conforme a Tabela 1. Todavia, os setores mapeados foram todos de nível 2, 3 ou 4, pois setores de nível 1 não foram priorizados para o PMRR.

Tabela 1 – Classificação dos setores de risco.

Grau de risco	Descrição
1- Baixo a inexistente (não incluído no projeto, pois esses setores foram excluídos da visita de campo.)	Os condicionantes geológicos do meio físico predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de baixa potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e de margens de drenagens. É a condição menos crítica. Mantidas as condições existentes, não se espera a ocorrência de eventos destrutivos no período de 1 ano.
2 - Médio	Os condicionantes geológicos-do meio físico predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de média potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Observa-se a presença de alguma(s) evidência(s) de instabilidade (encostas e margens de drenagens), porém incipiente(s). Mantidas as condições existentes, é reduzida a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.
3 – Alto	Os condicionantes geológicos-do meio físico predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Observa-se a presença de significativa(s) evidência(s) de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, etc.). Mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.
4 – Muito alto	Os condicionantes geológicos-do meio físico predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de muito alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Observa-se a presença de significativa(s) evidência(s) de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, etc.). Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.

Fonte: Brasil (2007).

O número de setores em cada classe de risco não estava balanceado entre si, pois a base de dados conta com 216 setores de grau de risco 2, 124 setores de grau de risco 3 e apenas 18 setores de grau de risco 4. Por esse motivo, foi necessário aplicar pesos de importância para cada setor, de forma a igualar a importância de cada classe, conforme sugerido por Krawczyk (2016). A fórmula para calcular os pesos foi de “1 / nº de casos”, gerando um peso de importância de 0,005 para cada setor de grau de risco 2, 0,008 para cada setor de grau de risco 3, e 0,055 para cada setor de grau de risco 4. Para fins de comparação, foi testado o algoritmo sem atribuição de pesos e, como esperado, ele privilegiou a classificação das classes mais representadas, diferenciando mais eficientemente os setores de graus de risco 2 e 3, mas não classificando nenhum setor corretamente como grau de risco 4. Esse não seria um comportamento desejado para os modelos, visto que os setores de grau de risco 4 são os mais

relevantes para serem classificados, tendo em vista o maior risco para a população e a consequente prioridade para o monitoramento, investimentos e ações de redução do risco.

As variáveis preditoras envolveram apenas as informações das fichas que caracterizam as causas de risco dos setores, não envolvendo as informações sobre a quantidade de casas e moradores expostos, nem as indicações de intervenções. As variáveis preditoras foram divididas entre variáveis do meio físico e de vulnerabilidade social. Entende-se que essa divisão é relativamente arbitrária, pois, nos contextos práticos, essas dimensões estão intrinsecamente conectadas. Por exemplo, um lote que joga suas águas sobre um talude cortado em solo maduro de um vizinho morro abaixo, causando o embarrigamento do talude sobre um muro de baixa resistência, é uma situação que envolve questões do meio físico e de vulnerabilidade de ocupação. Mesmo cientes dessa dificuldade, foram definidas como variáveis de vulnerabilidade social aquelas mais diretamente relacionadas à ocupação humana, e como do meio físico aqueles atributos naturais de suscetibilidade que podem elevar o risco da ocupação humana.

Enfatiza-se que optou-se por não utilizar o conceito restritivo de Vulnerabilidade Social como condições que diminuem a capacidade de resistir a impactos (ONU, 2016), e sim o esquema conceitual mais amplo de vulnerabilidade social proposto por Blaikie et al. (1996), no qual a estrutura social desigual que gera a vulnerabilidade social pode ser considerada como um causa profunda (raiz) das situações de risco, que leva a pressões dinâmicas, tais como a marginalização espacial da população pobre sobre as áreas de maior suscetibilidade a desastres. De acordo com esse autor, essa vulnerabilidade social em locais expostos a ameaças gerará condições inseguras devido à forma de ocupação que é encontrada como alternativa para essas comunidades vulneráveis. Reconhece-se que algumas variáveis listadas como “vulnerabilidade social” na Tabela 2 afetam a exposição (ameaças) e não a fragilidade do habitante em um eventual desastre. A forma de construção da exposição ao longo do tempo mostra a vulnerabilidade social influenciando a construção social do risco. Dessa forma, a construção da exposição fica imbricada na vulnerabilidade social, na história de ocupação do terreno. Na história de elaboração de PMRRs, algumas variáveis classificadas como vulnerabilidade social na Tabela 2 já eram analisadas por engenheiros geotécnicos por se espelharem nos elementos construtivos (taludes, muros, casas), enquanto as características dos habitantes eram muitas vezes desconsideradas. Esse foi um dos avanços nos PMRRs de São Bernardo do Campo e de Franco da Rocha.

A divisão das variáveis empregadas é apresentada a seguir:

Tabela 2 – Divisão entre Variáveis Preditoras do meio físico e de Vulnerabilidade Social

Variáveis do meio físico	Variáveis de vulnerabilidade social
<ul style="list-style-type: none"> ● Localização em Área de Preservação Permanente (APP) ● Declividade Média (mensurada em campo) ● Declividade Média (pós-campo) ● Curvatura da vertente (em campo: convexo, retilíneo ou côncavo) ● Face (aspecto) obtido em campo ● Presença de encosta 	<ul style="list-style-type: none"> ● Localização em ZEIS (Zona de Interesse Social) ● Índice Paulista de Vulnerabilidade Social – IPVS ● Possui áreas ocupadas há mais de 10 anos ● Possui áreas ocupadas há menos de 10 anos ● Tipo de construção (madeira, misto ou alvenaria)

Variáveis do meio físico	Variáveis de vulnerabilidade social
<ul style="list-style-type: none"> ● Altura de encosta ● Inclinação de encosta ● Distância das moradias à crista da encosta ● Distância das moradias à base da encosta ● Material predominante do talude de corte ● Solo maduro no talude de corte ● Rocha alterada no talude de corte ● Rocha sã no talude de corte ● Material de origem no talude de corte ● Maciço Rochoso ● Matacões ● Cursos d'água ● Curso d'água natural ● Curso d'água meandrante ● Talude marginal ● Altura do talude marginal ● Distância da moradia à margem ● Trincas no terreno ● Degrau de abatimento ● Árvores, postes e muros inclinados ● Altura de cheias ● Cicatriz de escorregamento (histórico) ● Área estimada da cicatriz de escorregamento ● Volume estimado da cicatriz de escorregamento ● Data de ocorrência do deslizamento ● Surgência d'água ● Presença de árvores ● Vegetação rasteira ● Deslizamento em encosta/vertente natural ● Solapamento de margem ● Erosão ● Queda de blocos ● Rolamento de blocos ● Desplacamento ● Corrida de sedimentos ● Rastejo ● Condição favorável de estabilidade de blocos e maciço rochoso ● Condição desfavorável de estabilidade de blocos e maciço rochoso ● Geomorfologia (pré-campo) ● Geologia (pré-campo) ● Declividade (pré-campo) ● Aspecto (pré-campo) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Evidências de fragilidade construtiva, de instabilidade estrutural ou de degradação significativa da edificação ● Densidade de Ocupação (obtida em campo) ● Desorganização espacial e/ou adensamento excessivo das edificações na área vistoriada, afetando fluxos de drenagem superficial ● Vias < 1m ● Vias > 1m ● Vias pavimentadas ● Vias não pavimentadas ● Escadões ● Caminhos Desorganizados de Difícil Acesso ● Coleta Regular de Resíduos Sólidos/Caçamba ● Ligação irregular de energia elétrica ● Estruturas desfavoráveis a estabilidade da encosta ● Talude de corte ● Altura do talude de corte ● Inclinação do talude de corte ● Distância das moradias à crista do talude de corte ● Distância das moradias à base do talude de corte ● Estruturas desfavoráveis à estabilidade do talude de corte ● Talude de aterro ● Altura do talude de aterro ● Inclinação do talude de aterro ● Distância das moradias à crista do talude de aterro ● Distância das moradias à base do talude de aterro ● Estruturas desfavoráveis à estabilidade do maciço rochoso ● Depósito (lançamento de material) sobre: <ul style="list-style-type: none"> ○ Encosta/Vertente natural ○ Talude de aterro ○ Talude de corte ○ Talude marginal ● Espessura do depósito lançado ● Aterro (material presente) ● Lixo (material presente) ● Entulho (material presente)

Variáveis do meio físico	Variáveis de vulnerabilidade social
<ul style="list-style-type: none"> ● Rugosidade (pré-campo) ● Curvatura (pré-campo) ● Acumulação (pré-campo) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Acumulação significativa de lixo no entorno da moradia ● Curso d'água retificado ● Curso d'água assoreado ● Curso d'água com lixo ● Curso d'água com entulho ● Trincas na moradia ● Muros e paredes embarrigados ● Sinais de Infiltração ● Concentração de água de chuva em superfície ● Lançamento de águas servidas em superfície ● Vazamento de tubulação ● Escoamento de água direto dos telhados ● Ausência de calhas ● Ausência de rede de esgoto ● Ausência de rede de água ● Fossas ● Sistema de drenagem superficial (guias e sarjetas / escada hidráulica / rede de drenagem pluvial) ● Lançamento desorganizado de águas servidas sobre taludes ● Área desmatada ● Área de cultivo ● Deslizamento em talude de corte ● Deslizamento em talude de aterro ● Deslizamento em depósito de encosta ● Densidade de ocupação (pré-campo) (Unidades Homogêneas de Uso e Cobertura da Terra - UHCT) ● Estágio de ocupação (Unidades Homogêneas de Uso e Cobertura da Terra - UHCT) (pré-campo) ● Ordenamento urbano (Unidades Homogêneas de Uso e Cobertura da Terra - UHCT) (pré-campo)

Fonte: elaboração própria.

Foram realizadas seis versões do modelo de Árvores de Classificação:

- 1) Usando os setores de risco de São Bernardo do Campo e todos os atributos da ficha de campo como variáveis preditoras.
- 2) Usando os setores de risco de Franco da Rocha e todos os atributos da ficha de campo como variáveis preditoras.

- 3) Usando os setores de risco dos dois municípios e todos os atributos da ficha de campo, mas sem usar a variável de identificação do município como preditora.
- 4) Usando os setores de risco dos dois municípios, somente os atributos do meio físico das fichas de campo e a variável de identificação do município como preditoras.
- 5) Usando os setores de risco dos dois municípios, os atributos de vulnerabilidade das fichas de campo e a variável de identificação do município como preditoras.
- 6) Usando os setores de risco dos dois municípios, todos os atributos das fichas de campo e a variável de identificação do município como preditoras.

Foram testadas versões dos modelos dividindo a base de dados entre base de treino (calibração, 70%) e de teste (validação, 30%), mas as árvores de classificação geradas não se apresentaram conceitualmente confiáveis, por exemplo, atribuindo maior risco para setores com menor declividade. Isso foi interpretado como um indicativo de que a quantidade de setores da base de dados é relativamente baixa para abarcar toda a complexidade de situações de risco. Por isso, os modelos gerais apresentados nesta pesquisa utilizaram toda a base de dados para calibração e validação, sem divisão entre treino e teste. Após essa escolha, considerou-se que as árvores geradas se tornaram conceitualmente mais coerentes, com as ramificações levando a graus menores ou maiores de risco conforme o esperado para cada variável utilizada.

A ausência da divisão entre treino e teste dificulta a avaliação do nível de sobreajustamento (*overfitting*) do modelo, isto é, se o modelo conseguiria explicar bem a base de dados utilizada, mas não conseguiria explicar na mesma medida o grau de risco de outros setores que fossem adicionados no futuro, ou ainda, em outras palavras, qual seria a capacidade de generalização da aplicabilidade do modelo para novos dados. Todavia, o algoritmo do RPART utiliza internamente a validação cruzada (testes sistemáticos retirando alguns setores da base de dados, de cada vez) como forma de mensurar e evitar o sobreajustamento. Os resultados dessa validação cruzada também são utilizados para selecionar as variáveis que serão utilizadas na árvore de classificação e também o número de níveis e ramificações da árvore, gerenciando o balanço entre capacidade de explicação e o nível de complexidade do modelo final, também com finalidade de evitar o sobreajustamento (Therneau et al., 2023b).

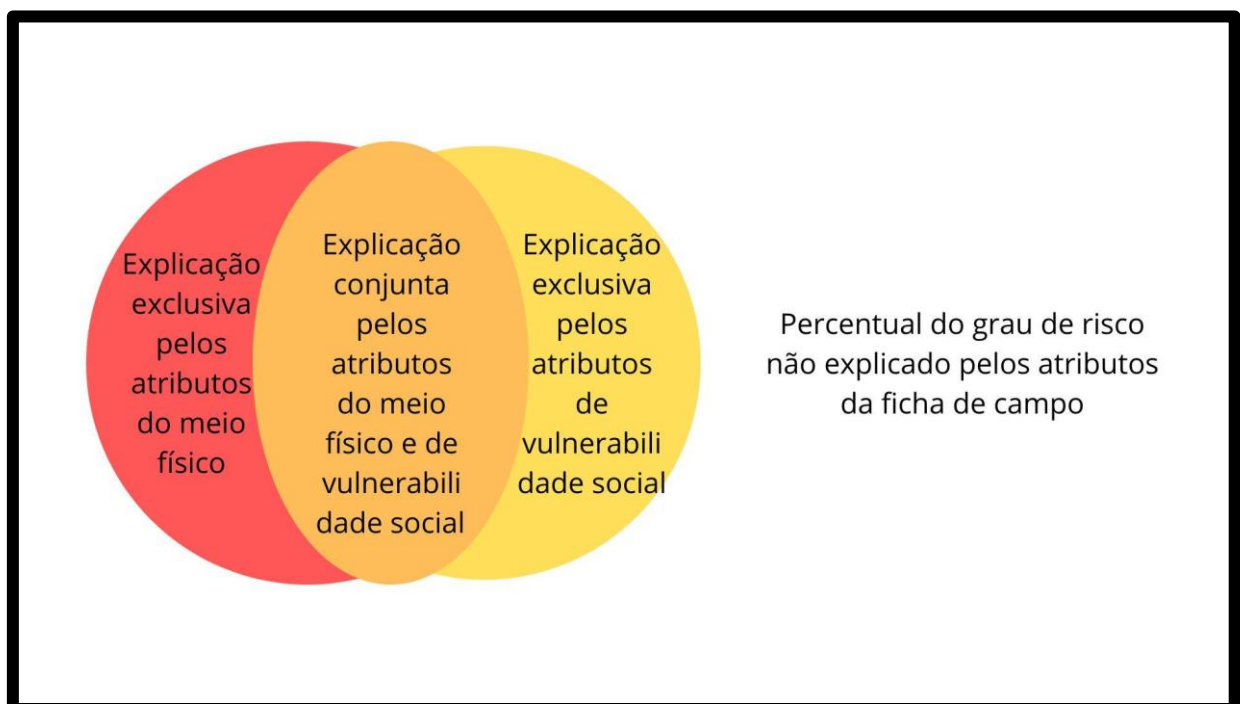
Para analisar o desempenho dos seis 6 modelos de árvore classificação, foi calculado o Somers' Delta, que corresponde a uma medida de associação entre as variáveis preditoras (atributos das fichas de campo) e a variável predita (grau de risco) (Somers, 1962). O uso do Somers' Delta, é indicado por Agresti e Tarantola (2018) para modelos em que a variável predita tem natureza ordinal (graus de risco, neste caso), e especificamente indicado por Galimberti et al. (2012) para avaliar o resultado de algoritmos de árvores de partição recursiva com variável predita ordinal. O Somers' Delta é uma adaptação da correlação de Tau de Kendall (1938), que é bidirecional, para modelos ordinais unidirecionais (como regressões e classificações), portanto, sendo análogo ao coeficiente de determinação (R^2) em uma regressão, da mesma forma que a correlação de Tau-Kendall é comparada à correlação de Pearson (r). O intervalo de variação do Somers' Delta é de -1 a 1. Se o valor do Somers' Delta é 0, não há nenhuma associação entre as variáveis preditoras e a variável predita. Se é negativo, quanto menor o Somers' Delta, menor a associação entre as variáveis preditoras e a variável predita. Se é positivo, quanto maior o Somers' Delta, maior a associação entre as variáveis preditoras e a variável predita.

Em seguida, a consistência conceitual e teórica do modelo geral final foi avaliada a partir de sua árvore de classificação. Nesta etapa, observou-se que diversas variáveis estavam exercendo efeito contrário ao que era conceitualmente esperado, por exemplo, aumentando o

risco quando se esperava que estivessem diminuindo. Nesses casos, considerou-se que tais relações seriam espúrias (coincidências devido à complexidade dos dados) e essas variáveis foram retiradas dos modelos. Exemplificando, havia uma proporção maior de casas de alvenaria em relação a casas de madeira em áreas de risco 4, se comparadas às áreas de risco 2 e, portanto, os modelos tenderiam a explicar que casas de alvenaria tendem a correr mais risco que casas de madeira, o que é o contrário do que se espera teoricamente em relação à fragilidade das construções. Apesar de as casas de madeira terem sido um critério relevante para diferenciação de comunidades vulneráveis socialmente em décadas passadas, atualmente quase todas as casas nos setores de risco de Franco da Rocha e São Bernardo do Campo já são de alvenaria, tornando-se uma característica menos relevante para caracterização de risco. As variáveis retiradas foram Ordenamento Urbano, Tipo de construção, Estágio de Ocupação, Acumulação, Presença de encosta, Vias não pavimentadas, Rugosidade, Cicatrizes de Escorregamento, Geomorfologia, Erosão, Existência de Talude de Corte e Tempo de ocupação menor do que 10 anos. Não se questiona que essas características sejam relevantes para a caracterização de riscos de desastres, porém, elas não se adaptaram bem à previsão de riscos pelos modelos utilizados, no contexto dos dois municípios selecionados.

Com base nos resultados desses seis modelos, foi realizado um diagrama de partição de variância (Borcard et al., 1992) para explicar como os atributos de vulnerabilidade social e do meio físico contribuem para a atribuição de risco, bem com a intersecção entres essas duas dimensões, conforme o esquema conceitual da Gráfico 1. A relevância de cada um dos atributos na explicação do grau de risco foi avaliada por meio de Gráficos de Importância de Variáveis.

Gráfico 1 – Proposta conceitual de partição de variância.



Fonte: elaboração própria.

As bases de dados e os códigos em R elaborados nesta pesquisa estão disponibilizados no repositório institucional da UFABC, no seguinte endereço: <https://dataverse.ufabc.edu.br/dataverse/risco_vulnerabilidade_protocolos>.

2.3. RESULTADOS

A Tabela 3 apresenta os valores de Somers' Delta dos seis modelos de árvores de classificação feitos para analisar a associação entre os atributos da ficha de campo e o grau de risco.

Tabela 3 – Somers' Delta dos modelos de árvore de classificação

Número do modelo	Município	Variáveis	Somers Delta
1	São Bernardo do Campo	Todas	0,47
2	Franco da Rocha		0,44
3	São Bernardo do Campo e Franco da Rocha	Todas, sem identificação de município	0,44
4		Meio físico, com identificação de município	0,35
5		Vulnerabilidade social, com identificação de município	0,37
6		Todas, com identificação de município	0,44

Fonte: Elaboração própria.

O Modelo 1, feito com os setores de risco de São Bernardo do Campo e todos os atributos das fichas de campo apresentou o melhor desempenho. As fichas de campo de São Bernardo do Campo tiveram mais atributos preenchidos, durante a elaboração do PMRR, do que as de Franco da Rocha, o que justifica o melhor desempenho do Modelo 1. Há 23 setores de risco em Franco da Rocha para os quais não há ficha de campo, ou porque a avaliação de risco se deu exclusivamente a partir das observações em campo ou porque há setores que foram desmembrados de outros no pós-campo.

Os modelos 3 e 6, que utilizam os setores dos dois municípios, com todas as variáveis do meio físico e de vulnerabilidade social, tiveram o mesmo valor do Somers' Delta, com a única diferença de que o modelo 6 inclui uma variável indicando qual era o município. Portanto, pode-se concluir que, no modelo com os dois municípios juntos, adicionar a variável que identifica a qual município pertence cada setor não aprimorou a qualidade do modelo, e essa variável nem foi selecionada como relevante pelo algoritmo, indicando que o modelo é válido igualmente para os dois municípios, e sendo também um indicativo preliminar da viabilidade de generalizar e adaptar esse modelo para outros municípios, especialmente caso tenham contextos sociais e ambientais semelhantes.

O Modelo 6, que também usou os setores de risco de todos os municípios, mas com todos os atributos das fichas de campo, teve um desempenho maior tanto em relação ao modelo 4, que usou só os atributos do meio físico como em relação ao modelo 5, que usou só os atributos de vulnerabilidade. Esse resultado demonstra a importância de a avaliação de risco considerar tanto os atributos do meio físico como os de vulnerabilidade, mas também as relações entre o meio físico e a vulnerabilidade social (Nogueira et al., 2018).

As análises a seguir foram todas feitas com base no Modelo 6, que é o mais completo. A Tabela 4 apresenta a Matriz de Confusão, que compara a avaliação do grau de risco atribuído em campo com o grau de risco predito pelo modelo de classificação.

Tabela 4 – Matriz de Confusão do Modelo 6 (dois municípios com todas as variáveis e identificação do município)

Grau de risco atribuído pelo especialista em campo	Grau de risco atribuído pelo modelo		
	2	3	4
2	167	27	22
3	42	52	30
4	1	1	16

Fonte: Elaboração própria.

O grau de risco atribuído pelo modelo foi o mesmo que o atribuído pelo especialista em campo em 69,5% dos setores de risco. As diferenças podem ter ocorrido, em grande parte, porque o modelo atribui o grau de risco com base nas informações levantadas nas fichas de campo dos setores de risco, enquanto o especialista em campo deve ir além dos limites dos setores de risco, observando a integração destes, por exemplo, com as bacias hidrográficas e com o sistema de drenagem urbana. Essa leitura integrada dos setores de risco possibilita também prever como a ocorrência de um processo do meio físico em um setor de risco afetaria outro setor próximo, o que o modelo desenvolvido neste estudo não é capaz de fazer.

As variáveis mais importantes para a predição de risco feita pelo modelo são apresentadas na Tabela 5, com a importância variando de 0 a 100.

Tabela 5 – Índice de importância de variáveis (azul = meio físico, vermelho = vulnerabilidade social)

Ranking	Variável	Índice de importância
1	Evidências de fragilidade construtiva, de instabilidade estrutural ou de degradação significativa da edificação	0,250
2	Declividade (pré-campo)	0,155
3	Evidência clara de perigo, impacto ou dano à moradia por ocorrência pretérita, sem que haja providência observável de reparo ou mitigação por parte do morador	0,154
4	Curvatura (pré-campo)	0,123
5	Índice Paulista de Vulnerabilidade Social (IPVS)	0,086
6	Desorganização espacial e/ou adensamento excessivo das edificações na área vistoriada, afetando fluxos de drenagem superficial	0,081
7	Densidade de ocupação (pré-campo) (Unidades Homogêneas de Uso e Cobertura da Terra - UHCT)	0,078
8	Trincas na moradia	0,071
9	Acúmulo de lixo significativo no entorno da moradia	0,063
10	Depósito (lançamento de material) localizado sobre talude de corte	0,062
11	Declividade (medida em campo)	0,060
12	Presença de escadões	0,048
13	Perigo identificado de deslizamento em talude de corte	0,048
14	Lixo (material presente)	0,039
15	Perigo identificado de solapamento de margem	0,039
16	Existência de talude de aterro	0,036
17	Perigo identificado deslizamento em talude de aterro	0,034
18	Identificação do município (Franco da Rocha ou São Bernardo do Campo)	0,033
19	Altura do talude de corte	0,032
20	Perigo identificado de deslizamento de depósito de encosta	0,029
21	Localização em Zona Especial de Interesse Social	0,026
22	Geologia	0,024
23	Área desmatada	0,023
24	Entulho (material presente)	0,023
25	Lançamento de águas servidas em superfície	0,022
26	Moradores idosos, crianças, deficientes, dependentes químicos ou alcoólicos	0,019
27	Depósito (lançamento de material)	0,019
28	Presença e curso d'água	0,019
29	Lançamento desorganizado de águas servidas sobre taludes	0,016
30	Tipo de risco	0,015
31	Ausência de calhas	0,014
32	Escoamento de água direto dos telhados	0,012
33	Perigo identificado de deslizamento de encosta/vertente natural	0,011
34	Altura de encosta	0,008
35	Concentração de água de chuva em superfície	0,003

Fonte: Elaboração própria.

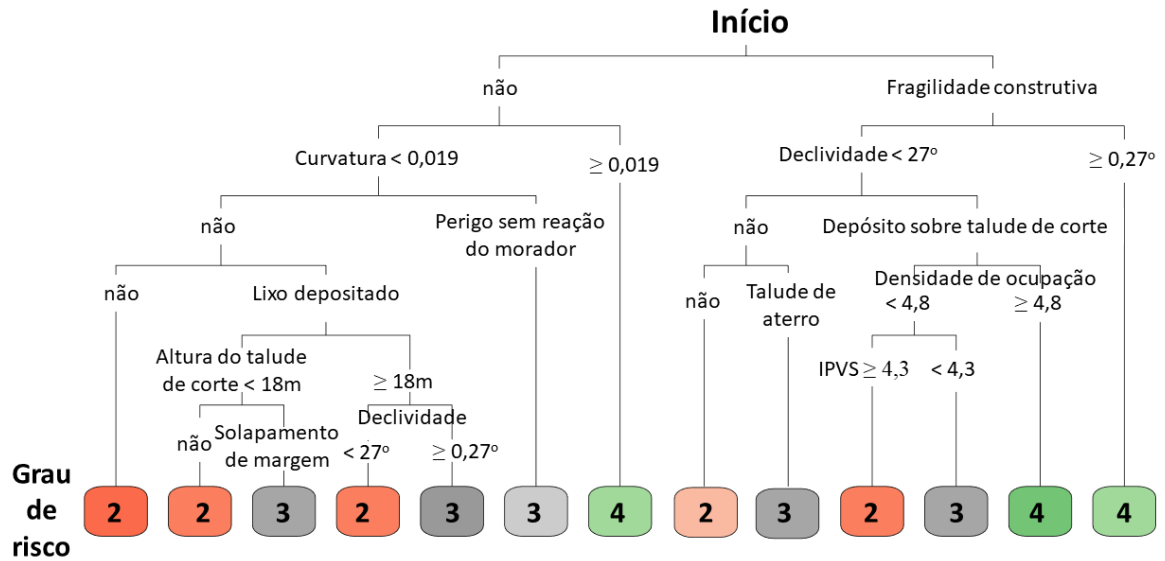
A variável mais importante foi a evidência de fragilidade construtiva. Essa variável se justifica, com base na experiência de campo tanto dos municípios estudados quanto na experiência em outros municípios brasileiros já estudados pela equipe de pesquisadores, pelo fato que grande parte dos riscos de deslizamento podem ser evitados a partir de um apropriado planejamento e construções de residência, mas que não ocorre especialmente devido à vulnerabilidade social dos moradores. Silva (2022) observou, explicitamente para o município de Franco da Rocha, como diversas regiões que possuem a mesma suscetibilidade natural a desastres, quando analisadas em escala de detalhe no PMRR, apresentam graus de risco muito diferenciados, em grande medida devido à fragilidade construtiva.

As variáveis de declividade e curvatura (ambas do meio físico) se destacam, sendo ambas medidas antes do campo por meio de modelos de elevação digital. Dentre as variáveis de vulnerabilidade levantadas antes do campo, o IPVS (5º lugar) e a densidade de ocupação por meio de base UHCT (7º lugar) também se mostraram relevantes. Das 35 variáveis selecionadas como relevantes para o modelo, 26 são de vulnerabilidade e a importância somada destas é 1,327. Por sua vez, são 8 variáveis do meio físico entre as selecionadas, cuja importância somada é 0,415. Assim como observado nos valores do Somers' Delta, os valores de importância das variáveis do meio físico e de vulnerabilidade também reforçam a necessidade de considerar conjuntamente a relação entre os processos do meio físico e a vulnerabilidade social na avaliação de risco (Nogueira et al., 2018).

34 variáveis relacionadas a vulnerabilidade social e 36 variáveis relacionadas ao meio físico não foram selecionadas para o modelo 6, e por isso não estão na Tabela 4. Isso significa que a inclusão dessas variáveis não contribuiria para o balanço entre poder de explicação do modelo e a incerteza de sobreajustamento, devido ao aumento de complexidade das árvores de classificação. Isso não quer dizer que essas variáveis não sejam relevantes para avaliação de risco, mas sim que, dado o tamanho limitado da base de dados existentes, não foi possível avaliar com segurança o efeito dessas variáveis sobre o grau de risco nesta pesquisa.

A árvore de decisão elaborada pelo modelo de classificação é apresentada no Gráfico 2. Nota-se que a tabela 4 apresenta muito mais variáveis do que da árvore de classificação do Gráfico 2, pois a árvore apresenta apenas as divisões mais relevantes. Em cada nó de divisão da árvore, o RPART também avalia a possibilidade de variáveis alternativas (*surrogate splits*), que são aproximadamente eficientes para a caracterização do risco, e essas variáveis alternativas ajudam a compor o índice de importância da tabela 4, assim como também são utilizadas para auxiliar nos casos de faltas de dados no preenchimento das planilhas (Therneau et al., 2023b). Portanto, a importância da variável é mais confiável para entender a relevância de cada variável para a predição de riscos, ao passo que a árvore tem a função principal de avaliar a coerência do efeito das variáveis sobre os graus de risco e as relações entre as variáveis.

Gráfico 2 – Árvore de Decisão

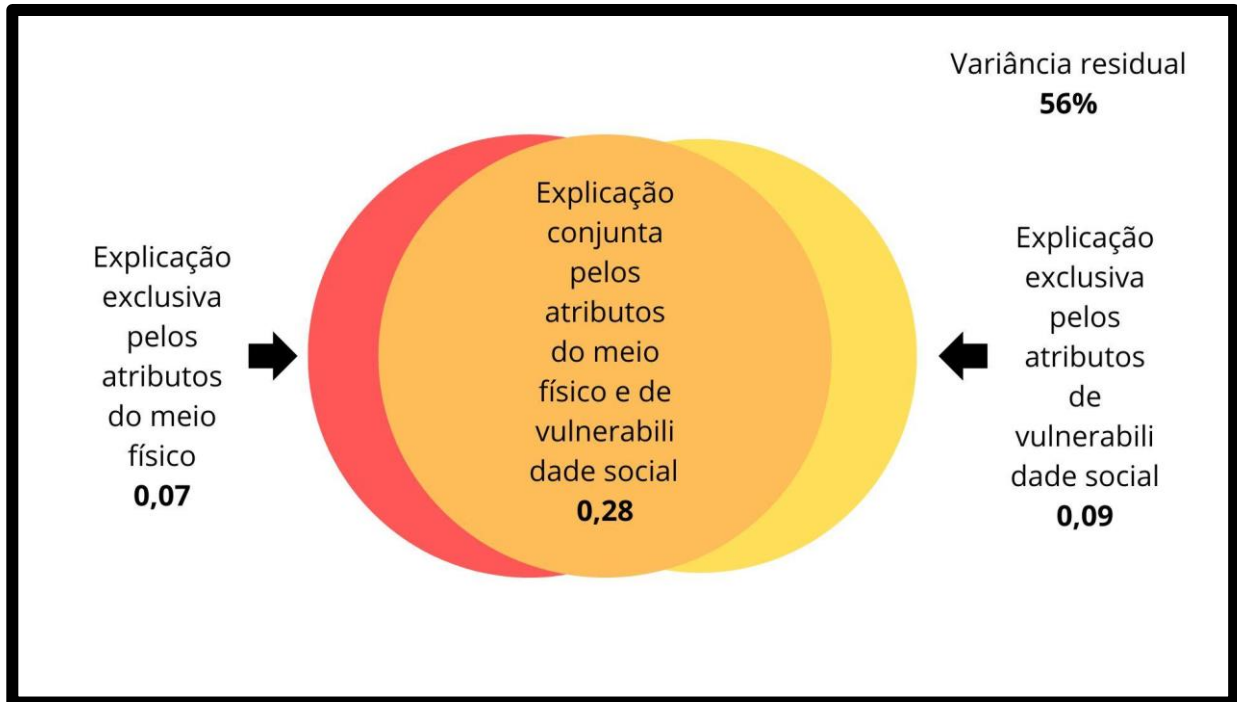


Fonte: Elaboração própria.

Conforme o gráfico 2, o nó-raiz da árvore, que corresponde à primeira divisão do modelo, é a partir da variável de fragilidade construtiva. Por sua vez, quando identificada a fragilidade construtiva e a declividade é maior ou igual a 27° , o grau de risco predito é 4. Nos setores sem evidência de fragilidade construtiva, a segunda divisão é a curvatura. Quando a curvatura é maior ou igual a 0,019 (maior concavidade), o grau de risco é 4. As outras divisões para os casos em que a curvatura é menor que 0,019 (relevos relativamente mais retilíneos ou convexos), são feitas pela presença de lixo depositado, altura de talude de corte, solapamento de margens de cursos d'água e declividade. Para os setores com constatação de fragilidade construtiva, mas declividade $< 27^\circ$, as ramificações são definidas pela presença de depósito sobre talude de corte, presença de talude de aterro, densidade de ocupação, e Índice Paulista de Vulnerabilidade Social (IPVS).

O Gráfico 3 apresenta a partição da variância dos dados:

Gráfico 3 – Partição da variância entre os modelos 4 (apenas atributos do meio físico), 5 (apenas variáveis de vulnerabilidade social) e 6 (todas as variáveis), abrangendo Franco da Rocha e São Bernardo do Campo.



Fonte: Elaboração própria.

A área em branco do Gráfico 3 corresponde à porcentagem do grau de risco não explicada pelos atributos da ficha de campo (56%) e, portanto, corresponde especialmente à capacidade do avaliador em ir além dos atributos isolados da ficha de campo para qualificar o grau de risco. Portanto, a avaliação holística e qualitativa do avaliador em campo continua indispensável para uma melhor caracterização do risco dos setores dos PMRR. A área de interseção entre atributos do meio físico e vulnerabilidade social, em verde na Figura 6 evidencia como a vulnerabilidade social está entrelaçada aos elementos do meio físico, tornando-se difícil de ser analisada separadamente (Nogueira et al., 2018). O processo progressivo de vulnerabilidade partindo de causas sociais estruturais profundas, levando a pressões dinâmicas de marginalização espacial e gerando condições inseguras frente às ameaças, proposto por Blaike et al. (1996), acaba por justificar a coincidência sobre a vulnerabilidade social e os atributos do meio físico na classificação dos graus de risco obtidos nesta pesquisa.

3. CONCLUSÃO

Não se pretende neste trabalho propor que a classificação de riscos por aprendizado de máquina substitua a avaliação qualitativa holística de atribuição de classes de risco nos PMRRs. Neste sentido, esta pesquisa corrobora a hipótese basilar de que a avaliação qualitativa do especialista de campo consegue considerar itens que não são possíveis de formalizar em uma ficha de campo simplificada. Além disso, o especialista exerce sua capacidade de ponderação da influência de cada fator no contexto específico de campo, bem como considera a combinação sinérgica dos diferentes fatores de risco. Todavia, a modelagem quantitativa contribuiu para evidenciar padrões relevantes para a reflexão sobre os fatores formadores de risco e pode servir, dessa forma, como um subsídio para aprimoramento e auxílio a decisões futuras quanto ao risco de desastres e sua relação com a vulnerabilidade social e com a suscetibilidade do meio físico. Outro aspecto importante que foi focado nesta pesquisa é a preparação e a transferência das bases de dados espaciais dos setores de risco para as defesas civis. Uma ação sequente, que deve ser priorizada, é a capacitação das defesas civis para utilização e atualização dessas bases de dados espaciais.

Ressalta-se que maior disponibilidade de tempo para os mapeamentos e de participação da comunidade local e da gestão municipal no PMRR qualifica a avaliação de riscos e as ações de erradicação, prevenção e mitigação. Isso possivelmente reduziria a quantidade de dados faltantes nas fichas de campo e, conseqüentemente, aumentaria a quantidade de dados para o modelo. Também seria possível avaliar mais atentamente a resiliência de moradores expostos aos riscos, o que, em geral, atenua as vulnerabilidades sociais e a exposição às ameaças do meio físico. Portanto, é muito importante ampliar os recursos e prazos para a elaboração de PMRR, mesmo em períodos de normalidade sanitária. Apesar de suas limitações, a elaboração dos PMRR de São Bernardo do Campo e Franco da Rocha (2020-2021) foi feita por uma equipe interdisciplinar, com participação de estudantes e profissionais de diferentes áreas do conhecimento, o que contribuiu para demonstrar que o modelo quantitativo desenvolvido neste estudo é melhor explicado pela análise integrada entre atributos do meio físico e de vulnerabilidade social. Este resultado sustenta a importância da interdisciplinaridade na formação acadêmica e profissional na elaboração de PMRRs. Nesse mesmo sentido, estratégias para aprofundar a colaboração com outras secretarias municipais para além da Defesa Civil e das secretarias de Habitação e Planejamento Urbano, como Saúde e Assistência social, podem ampliar as perspectivas e conhecimentos relevantes para uma melhor avaliação da vulnerabilidade social nos PMRRs.

Outra limitação desta pesquisa consiste em que a construção das árvores de classificação e a predição do grau de risco foram feitas com base no conjunto de dados completo. No aprendizado de máquinas supervisionado, é recomendada a prática de construir os modelos com um conjunto de dados para treinamento e fazer a predição com um conjunto de validação. Mas quando isso foi feito para esse conjunto de dados, o desempenho dos modelos foi inferior, no que se refere à coerência conceitual e teórica, em relação ao conjunto de dados completo. Os modelos desenvolvidos neste trabalho poderiam ser aprimorados e ampliados a partir dos dados provenientes da elaboração de outros PMRR, sendo essa uma perspectiva de continuidade de estudos.

Para estudos futuros, há um modelo em *r*, chamado *rpartScore* que é especializado para variáveis dependentes ordinais, como é o caso do presente estudo (graus de risco) e que, portanto, seria teoricamente mais coerente de ser utilizado do que o *RPART*. Todavia, o algoritmo *rpartScore* foi testado, mas não convergiu em resultados quando foi utilizada a base de dados deste estudo junto com os pesos de importância diferenciados para cada grau de risco. Estudos futuros com bases de dados mais balanceadas, ou maior quantidade de casos

observados, talvez consigam utilizar essas outras opções de modelagem para dados ordinais. Outra possibilidade para estudos futuros seria o uso de Inteligência Artificial Generativa (como ChatGPT), que teria a possibilidade de realizar análises mais complexas das fichas de campo, inclusive incorporando os textos escritos em campos de informação aberta (não-estruturada).

4. REFERÊNCIAS

AGRESTI, A., TARANTOLA, C. Simple ways to interpret effects in modeling ordinal categorical data: Simple ways to interpret effects in modeling ordinal categorical data. *Statistica Neerlandica*, v. 72, p. 210–223, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/stan.12130>>. Acesso em: 20 nov. 2023.

ALONSO, L. E., DEICHMANN, J. L., MCKENNA, S. A., NASKRECKI, P., & RICHARDS, S. J. Still counting... biodiversity exploration for conservation: the first 20 years of rapid assessment program. Chicago: Conservation International. 2011. 316 p.

BLAIKIE, P.; CANNON, T.; DAVIS, I.; WISNER, B. (1996) Vulnerabilidad: el entorno social, político y económico de los desastres. La RED (Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina). Disponível em: <https://www.desenredando.org/public/libros/1996/vesped/vesped-todo_sep-09-2002.pdf>. Acesso em: 17/11/2023.

BONDUKI, N. Os pioneiros da habitação social no Brasil: volume 1. São Paulo: Editora Unesp-Edições Sesc São Paulo, 2014.

BORCARD, D.; LEGENDRE, P.; DRAPEAU, P. Partialling out the Spatial Component of Ecological Variation. *Ecology*, v. 73, n. 3, p. 1045–1055, jun. 1992. Disponível em: <<https://doi.org/10.2307/1940179>>. Acesso em: 14 nov. 2023.

BRASIL. Ministério das Cidades. Prevenção de Riscos de Deslizamentos de Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais. Brasília (DF), 2006.

BRASIL. Ministério das Cidades. Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT. Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios. Brasília (DF), 2007. 176 p. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.economia.gov.br/handle/123456789/185>>. Acesso em: 11 nov. 2023.

BRASIL. Lei N° 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil [...]. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 10 abr. 2012. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112608.htm>. Acesso em: 12 nov. 2023.

BRASIL. Ministério do Planejamento e Orçamento. Plano Plurianual 2012-2015 – Mensagem Presidencial. Brasília (DF), 2012. Disponível em: <<https://www.gov.br/planejamento/pt-br/assuntos/plano-plurianual/paginas/ppa-2012-2015>>. Acesso em: 12 nov. 2023.

BRASIL. Decreto N° 10.962, de 3 de maio de 2021. Institui o Cadastro Nacional de Municípios com Áreas Suscetíveis à Ocorrência de Deslizamentos de Grande Impacto, Inundações Bruscas ou Processos Geológicos ou Hidrológicos Correlatos. *Diário Oficial da União*, Brasília-DF, 3

mai. 2021. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/decreto/D10692.htm>. Acesso em: 12 nov. 2023.

BREIMAN, L.; FRIEDMAN, J. H.; OLSHEN; STONE, C. J. Classification and Regression Trees. Wadsworth: Routledge. 1984. 368 p. Disponível em: <<https://doi.org/10.1201/9781315139470>>. Acesso em: 15 nov. 2023.

BROSE, M. E. Metodologia participativa. Uma introdução a 29 instrumentos. Porto Alegre: Tomo Editorial. 2001. 312 p.

CALLISTO, M.; FERREIRA, W. R.; MORENO, P.; GOULART, M.; PETRUCIO, M. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividade de ensino e pesquisa (MG-RJ). Acta Limnologica Brasiliensia, v. 14, n. 1. p. 91-98. Disponível em: <<https://jbb.ibict.br/handle/1/708>>. Acesso em: 11 nov. 2023.

CANIL, K.; LAMPIS, A.; DOS SANTOS, K. L. Vulnerabilidade e a construção social do risco: uma contribuição para o planejamento na macrometrópole paulista. v. 22, n. 48, ago. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/2236-9996.2020-4803>>. Acesso em: 14 nov. 2023.

CANIL, K.; MOURA, R. B.; SULAIMAN, S. M.; SILVA, R. C.; VIEIRA, J. J.; NOGUEIRA, F. R.; LEITE, M. A. B. A construção social do risco e as diferentes escalas de análise. In: SULAIMAN, S. M.; NOGUEIRA, F. R.; CANIL, K.; MOURA, R. B.; LEITE, M. A. B. (org.). Caminhos participativos para gestão integrada de riscos e desastres. Santo André: EdUFABC, 2022, p. 41-58. Disponível em: <<https://editora.ufabc.edu.br/interdisciplinar/101-caminhos-participativos-para-gestao-integrada-de-riscos-e-desas>>. Acesso em: 14 nov. 2023.

CARDOSO, A. L.; DENALDI, R. Urbanização de favelas no Brasil: Um balanço preliminar do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC). In: Urbanização de Favelas no Brasil: um balanço preliminar do PAC. 1. ed. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2018.

CEMADEN – CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO e ALERTAS de DESASTRES NATURAIS. São José dos Campos. Municípios Monitorados. Disponível em <<http://www2.cemaden.gov.br/municipios-monitorados-2/>>. Acesso em 12 nov. 2023.

CPLA – COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL. IG – INSTITUTO GEOLÓGICO (Estado de São Paulo). Unidades Homogêneas de Uso e Cobertura da Terra. 2014. Disponível em: <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/cpla/cessao-dedados/unidades-homogeneas-de-uso-e-ocupacao-do-solo-urbano-uhct/>>. Acesso em: 14 nov. 2023.

ENDERS, Craig K. Applied missing data analysis. Second Edition. Guilford Publications, 2022.

FENESSY, M. S.; JACOBS, A.D.; KENTULA, M. E. An evaluation of rapid methods for assessing the ecological condition of wetlands. Wetlands, v. 27, p. 543-560, set. 2007. Disponível em: <[https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2007\)27\[543:AEORMF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2007)27[543:AEORMF]2.0.CO;2)>. Acesso em: 11 nov. 2023.

FRANCO DA ROCHA. Lei nº 618 de 11 de abril de 2007. Institui o Plano Diretor de Desenvolvimento do Município de Franco da Rocha. Franco da Rocha: Câmara Municipal, [2011]. Disponível em: <https://www.francodarocha.sp.gov.br/franco/servico/lei/7081>. Acesso em: 29 set. 2023.

GUIMARÃES, A., RODRIGUES, A. S. L.; MALAFIA, G. Rapid assessment protocols of rivers as instruments of environmental education in elementary schools. *Ambiente & Água*, v. 12, n. 5, p. 801-813, out. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1996>>. Acesso em: 11 nov. 2023.

GROESCHL, J., NOY, I. Poverty, inequality, and disasters—an introduction to the special issue. *Economics of Disasters and Climate Change*, v. 4, p. 1-3, 2020.

IG – INSTITUTO GEOLÓGICO. Cadastro Georreferenciado de Eventos Geodinâmicos: 50 Municípios da Região Metropolitana de São Paulo, Baixada Santista e Litoral Norte. Projeto Transporte Sustentável de São Paulo. São Paulo (SP), 2017.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa de Informações Básicas Municipais. 2020. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/educacao/10586-pesquisa-de-informacoes-basicas-municipais.html?edicao=32141>>. Acesso em: 12 nov. 2023.

KENDALL, M. A New Measure of Rank Correlation. *Biometrika*. v. 30, n. 1–2, p. 81–89, 1938. doi:10.1093/biomet/30.1-2.81. JSTOR 2332226

KUSUMASARI, B.; ALAM, Q.; SIDDIQUI, K. Resource capability for local government in managing disaster, *Disaster Prevention and Management*, v. 19, v. 4, p. 438-451, 2010. Disponível em: <<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/09653561011070367/full/html>>. Acesso em: 14 out. 2023.

KRAWCZYK, B. (2016). Learning from imbalanced data: open challenges and future directions. *Progress in Artificial Intelligence*, 5(4), p. 221-232.

MARCHEZINI, V. As ciências sociais nos desastres: um campo de pesquisa em construção. *BIB - Revista Brasileira de Informação Bibliográfica em Ciências Sociais*, [S. l.], n. 83, p. 43–72, 2017. Disponível em: <<https://bibanpocs.emnuvens.com.br/revista/article/view/431>>. Acesso em: 3 nov. 2023.

MENDONÇA, M. R.; DI GREGORIO, L. T.; AFRADIQUE, C.O.S. Diagnóstico e discussão sobre Planos Municipais de Redução de Riscos no Brasil. *Ambiente & Sociedade*, v. 26, 2023. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20210207r1vu2023L2AO>>. Acesso em: 11 nov. 2023.

NOGUEIRA, F. R. Gerenciamento de riscos ambientais associados a escorregamentos: contribuição às políticas públicas municipais para áreas de ocupação subnormal. 2002. Tese (Programa de Pós-Graduação em Geociências) - Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 2002. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/items/09fddd7e-cbb0-422d-829d-0f9da97eb22d>>. Acesso em: 4 nov. 2023.

NOGUEIRA, F. R.; OLIVEIRA, V. E.; CANIL, K. Políticas Públicas Regionais para Gestão de Riscos: O processo de implementação no ABC, SP. *Ambiente & Sociedade*, São Paulo, v. XVII, n. 4, p. 177-194, 2014.

NOGUEIRA, F. R. e CANIL, K. (coord.) (2015). Carta geotécnica de aptidão à urbanização: instrumento de planejamento para prevenção de desastres naturais nos municípios de Rio Grande da Serra e São Bernardo do Campo, Região do Grande ABC, Estado de São Paulo. Santo André, Universidade Federal do ABC. Relatório Parcial.

_____(coords.) (2016). Carta geotécnica de aptidão à urbanização: instrumento de planejamento para prevenção de desastres naturais nos municípios de Santo André e na Estância Turística de Ribeirão Pires, Região do Grande ABC, Estado de São Paulo. Santo André, Universidade Federal do ABC. Relatório Parcial.

_____(coords.) (2017). Carta geotécnica de aptidão à urbanização: instrumento de planejamento para prevenção de desastres naturais nos municípios de Caieiras, Itapeverica da Serra, Itapevi e Santana de Parnaíba, Estado de São Paulo. Santo André, Universidade Federal do ABC. Relatório Parcial.

NOGUEIRA, F. R.; CANIL, K. Avanços e limitações: Reflexões sobre a gestão de riscos. In: SULAIMAN, S. N.; JACOBI, P. R. (org.). *Melhor prevenir: Olhares e saberes para a redução de risco de desastre*. São Paulo: IEE-USP, 2018. p. 49-56.

NOGUEIRA, F. R.; CANIL, K. São Bernardo do Campo: Uso das cartas geotécnicas para prevenção. In: SULAIMAN, S. N.; JACOBI, P. R. (org.). *Melhor prevenir: Olhares e saberes para a redução de risco de desastre*. São Paulo: IEE-USP, 2018. p. 111-114.

NOGUEIRA, F. R.; SULAIMAN, S. N.; VASCONCELOS, V. V.; SILVA, R. C.; CARVALHO, B.O. Mensuração de vulnerabilidade na escala de detalhe para mapeamento de riscos: uma proposição inicial. Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 16, Anais..., ABGE, São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://www.schenautomacao.com.br/cbge/anais/trabalhos.php>>. Acesso em: 11 nov. 2023.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction. Sendai, 2015. Disponível em: <https://news.un.org/en/story/2015/03/493782>. Acesso em: 11 nov. 2023.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS: Report of the open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction. 2016. Disponível em: <https://www.preventionweb.net/files/50683_oiewgreportenglish.pdf>. Acesso em: 5 dez. 2023.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Coordenação de Assuntos Humanitários. Disaster Response in Asia and The Pacific. Bangkok, 2013. Disponível em: <<https://asiadisasterguide.unocha.org/>>. Acesso em: 11 nov. 2023.

RUBIN, D. B. Inference and missing data. *Biometrika*, v. 63, n. 3, p. 581-592, 1976.

SÃO BERNARDO DO CAMPO. Lei nº 6.184 de 21 de dezembro de 2011. Dispõe sobre a aprovação do Plano Diretor do Município de São Bernardo do Campo, e dá outras providências. São Bernardo do Campo: Câmara Municipal, [2011]. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-sao-bernardo-do-campo-sp>. Acesso em: 29 set. 2023.

SEADE – SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. Índice Paulista de Vulnerabilidade Social. 2010. Disponível em: <<http://catalogo.governoaberto.sp.gov.br/dataset/21-ipvs-indice-paulista-de-vulnerabilidade-social/resource/353648a8-91f4-4137-88f7-4dbd43bb7932>>. Acesso em: 14 nov. 2023.

SILVA, R. C. A construção social do risco associado a deslizamentos: espacialização multiescalar da vulnerabilidade no município de Franco da Rocha. Dissertação de Mestrado. UFABC. 2022.

SOMERS, R. H. A New Asymmetric Measure of Association for Ordinal Variables. *American Sociological Review*, v. 27, p. 799–811, 1962. <https://doi.org/10.2307/2090408>

SULAIMAN, S. M.; MOURA, R. B.; NOGUEIRA, F. R. Da geotecnia para a gestão participativa. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 14, 2022. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/urbe/a/MvYSJ7LtTqGXhjd9rN7kRpJ/?lang=pt>>. Acesso em: 14 nov. 2023.

THERNEAU, T., ATKINSON, B., RIPLEY, B. Package ‘rpart’. CRAN, 2023a. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/rpart/rpart.pdf>>. Acesso em 16 novembro, 2023.

THERNEAU, T., ATKINSON, B., RIPLEY, B. An Introduction to Recursive Partitioning Using the RPART Routines. CRAN, 2023b. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/rpart/vignettes/longintro.pdf>, acesso em 16 novembro, 2023.

UFABC – UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC. Elaboração de Planos Municipais de Redução de Riscos (PMRR) nos municípios de São Bernardo do Campo e Franco da Rocha, no Estado de São Paulo. Relatório Pacial. Santo André (SP), mar. 2020.

VASCONCELOS, V. V.; MARTINS JUNIOR, P. P.; HADAD, R. M. Metodologia para diagnóstico rápido de áreas de recarga de aquíferos. *Geologia USP. Série Científica*, [S. l.], v. 13, n. 2, p. 69-96, 2013. DOI: 10.5327/Z1519-874X2013000200005. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/guspsc/article/view/61736>>. Acesso em: 11 nov. 2023.

VASCONCELOS, V. V. Recarga de Aquíferos: Subsídios à gestão hídrica e ambiental – Bacia do Rio Paracatu – SF7. Tese (Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2014. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/3590>>. Acesso em: 11 nov. 2023.

VASCONCELOS, V. V.; PINHO, C. M. D.; SULAIMAN, S. N.; PAZ, D. P.; MORAIS, G. M.; SILVA, J. J. Geoprocessamento aplicado à gestão de riscos. In: SULAIMAN, S. M.; NOGUEIRA, F. R.; CANIL, K.; MOURA, R. B.; LEITE, M. A. B. (org.). Caminhos participativos para gestão integrada de riscos e desastres. Santo André: EdUFABC, 2022, p. 41-58. Disponível em: <<https://editora.ufabc.edu.br/interdisciplinar/101-caminhos-participativos-para-gestao-integrada-de-riscos-e-desas>>. Acesso em: 14 nov. 2023.

VILLAÇA, F. O que todo cidadão precisa saber sobre habitação. São Paulo (SP), Global Editora, 1986. 56 p.