

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

**Centro de Filosofia e Ciências Humanas
Departamento de Geociências**



**Ministério das
Cidades**

Secretaria Nacional de Acessibilidade e Programas Urbanos

**ELABORAÇÃO DE CARTAS GEOTÉCNICAS DE APTIDÃO À
URBANIZAÇÃO FRENTE AOS DESASTRES NATURAIS NO
MUNICÍPIO DE RIO FORTUNA, ESTADO DE SANTA CATARINA**

Relatório Final

PRESIDENTE DA REPÚBLICA

Dilma Vana Rousseff

MINISTRO DAS CIDADES

Gilberto Magalhães Occhi

**SECRETÁRIO NACIONAL DE
ACESSIBILIDADE E PROGRAMAS
URBANOS**

Sebastião Ronaldo Martins Cruz

**DIRETOR DE ASSUNTOS
FUNDIÁRIOS E PREVENÇÃO DE
RISCOS**

Thiago Galvão

**GERENTE DE PROJETOS DE
CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA
PARA PREVENÇÃO DE
DESASTRES NATURAIS**

Paula Regina Comin Cabral

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE
SANTA CATARINA**

**REITORA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DE SANTA CATARINA**

Professora Roselane Neckel, Dr^a.

PRÓ-REITOR DE EXTENSÃO

Professor Edison da Rosa, Dr.

**DIRETOR DO CENTRO DE
FILOSOFIA E CIÊNCIAS
HUMANAS**

Professor Paulo Pinheiro Machado,
Dr.

**CHEFE DO DEPARTAMENTO DE
GEOCIÊNCIAS**

Professor João Carlos Rocha Gré, Dr.

COORDENAÇÃO DO PROJETO

Professor Juan Antonio Altamirano
Flores, Dr.

**FUNDAÇÃO DE ENSINO E
ENGENHARIA DE SANTA
CATARINA**

Raul Valentim da Silva - Diretor
Presidente

**EXECUÇÃO DO PROJETO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS**

CORPO TÉCNICO

Coordenação do projeto

Prof. Dr. Juan Antonio Altamirano Flores

Professores Pesquisadores

Prof. Dr. Jöel Robert G. Marcel Pellerin

Prof. Dra. Janete Josina de Abreu

Prof. Dr. Edison Ramos Tomazzoli

Prof. Dr. Everton da Silva

Prof. Dr. João Carlos Rocha Gré

Prof. Dr. Rafael Augusto dos Reis Higashi

Prof. Dr. Murilo Espíndola

Prof. Dr. Pedro Luiz Borges Chaffe

Prof. Dr. Roberto Fabris Goerl

Prof. MSc. João Norberto Destro

Pesquisadores

Geóg. MSc. Gerly Mattos Sánchez

Geóg. MSc. Regiane Mara Sbroglia

Servidores Técnico-Administrativos

Geóg. José Henrique Villela

Bolsistas do Projeto

Bruno Montibeller

Debora Yumi de Oliveira

Derik Konig

Eduardo Jensen Cechinel

Gustavo Andrei Speckhann

Kaliu Teixeira

Marco Aurélio Virtuoso

Michely Marcia Martins Mello

Nilo Rodrigues Junior

Thiago Panchiniak

Vitor Santini Muller

Waldemar Barbosa de Lima Filho

Apoio Técnico Externo

Eng. Cartog. MSc. Thobias Leôncio Rotta

Furlanetti

AGRADECIMENTOS

Ministério das Cidades

Prefeitura Municipal de Rio Fortuna

Defesa Civil Estadual e Municipal

Fundação de Ensino e Engenharia de

Santa Catarina - FEESC

APRESENTAÇÃO

Os desastres naturais no Brasil estão relacionados principalmente a processos de origem hidrometeorológica como inundações, enxurradas e deslizamentos nas encostas. A recorrência e magnitude desses eventos extremos motivaram a promulgação da Lei Federal Nº 12.608 de 10 de abril de 2012, que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil e estabelece diretrizes de amplo espectro voltadas à gestão e redução dos riscos de desastres naturais no país, envolvendo esforços da União, Estados e Municípios, com destaque para as ações preventivas. Essas ações preventivas incluem a elaboração das cartas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais, cuja elaboração é baseada no mapeamento da suscetibilidade a processos físicos que possam representar ameaças futuras à população, em áreas com potencial para a expansão urbana. Essas cartas constituem instrumento fundamental para a adequação dos planos diretores dos municípios mais suscetíveis às adversidades hidrometeorológicas no país, a fim de evitar a formação de novas áreas de risco, a partir do planejamento urbano de acordo com a aptidão física dos terrenos à urbanização.

O Ministério das Cidades, através da Secretaria Nacional de Acessibilidade e Programas Urbanos, em parceria com diferentes universidades federais do país, vem promovendo o desenvolvimento de metodologias de elaboração de cartas de aptidão à urbanização, voltadas à prevenção de desastres naturais e à sua aplicação em vários municípios brasileiros.

A Universidade Federal de Santa Catarina integra essa parceria com o Ministério das Cidades e desenvolveu abordagem metodológica acerca do tema para aplicação em municípios catarinenses, incluindo o município de Rio Fortuna.

Os resultados desse projeto visam fornecer subsídios ao Plano Diretor Municipal, para que os novos projetos de parcelamento do solo nos municípios-alvos possam incorporar diretrizes voltadas à prevenção de riscos de desastres naturais no estado de Santa Catarina.

Equipe técnica do projeto

Sumário

1. INTRODUÇÃO	8
2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	10
2.1. <i>ÁREAS DE INTERVENÇÃO</i>	<i>11</i>
2.2. <i>BASE CARTOGRÁFICA</i>	<i>12</i>
3. ESTUDOS PRELIMINARES.....	14
3.1. <i>INVENTÁRIO DE REGISTROS DE DESASTRES NATURAIS.....</i>	<i>14</i>
3.2. <i>BASES GEOLÓGICAS E GEOMORFOLÓGICAS</i>	<i>22</i>
3.2.1. Geologia	22
3.2.1.1. Granito da Suíte Pedras Grandes	23
3.2.1.2. Diabásio.....	25
3.2.1.3. Depósitos aluvionares quaternários	26
3.2.1.4. Depósitos de encosta e/ou colúvio-aluvionares.....	27
3.2.2. Geomorfologia	29
3.2.2.1. Modelados de Dissecação	30
3.2.2.2. Modelados de Acumulação	31
3.2.3. Levantamento Geofísico.....	31
3.2.4. Estudo Geotécnico	35
3.2.4.1. Estabilidade de taludes no município de Rio Fortuna.....	38
4. CARTAS DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS E INUNDAÇÕES	40
4.1. <i>ELABORAÇÃO DA CARTA DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS</i>	<i>40</i>
4.1.1. Carta de suscetibilidade a deslizamentos para o município de Rio Fortuna	41
4.2. <i>ELABORAÇÃO DA CARTA DE SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÕES.....</i>	<i>42</i>
4.2.1. Análise Fluviométrica	43
4.2.2. Height Above Nearest Drainage – HAND	43
4.2.3. Reclassificação do HAND	46
4.2.4. Carta de suscetibilidade à inundação para o município de Rio Fortuna	47
5. CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO	51
5.1. <i>CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO NO MUNICÍPIO DE RIO FORTUNA</i>	<i>52</i>
6. DISPONIBILIZAÇÃO DAS CARTAS GEOTÉCNICAS DE APTIDÃO URBANA.....	57
6.1. <i>IMPLANTAÇÃO DE BANCO DE DADOS GEORREFERENCIADOS</i>	<i>57</i>
6.2. <i>ACESSO ÀS CARTAS GEOTÉCNICAS DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO NA WEB</i>	<i>58</i>
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
REFERÊNCIAS.....	63

Lista de Figuras

Figura 1. Limites do perímetro urbano (em verde) e das superfícies urbanizadas (em amarelo) das unidades territoriais do município de Rio Fortuna – 2015, gerado a partir do mosaico ortofotogramétrico de 2011, atualizado com imagens Google Earth de 2015. Fonte: Secretaria de Estado de Desenvolvimento Sustentável, 2011.....	12
Figura 2. Total de registros de desastres por tipo de evento no município de Rio Fortuna, período de 1980 a 2015. Fonte: Brasil (2015), Herrmann org. (2014), Prefeitura Municipal de Rio Fortuna (2010).	16
Figura 3. Frequência anual dos registros de desastres por tipo de evento no município de Rio Fortuna no período de 1980 a 2016. Fonte: Brasil (2015), Herrmann org. (2014), Prefeitura Municipal de Rio Fortuna (2010).	17
Figura 4. Frequência mensal dos registros de desastres por tipo de evento no município de Rio Fortuna. Fonte: Brasil (2015), Herrmann org. (2014), Prefeitura Municipal de Rio Fortuna (2010).	18
Figura 5. Totais de afetados direta e indiretamente por tipologia de desastre no município de Rio Fortuna. Fonte: Brasil (2015), Herrmann org. (2014), Prefeitura Municipal de Rio Fortuna (2010).	19
Figura 6. Totais de danos humanos diretos por tipologia de desastre no município de Rio Fortuna no período de 1980 a 2016. Fonte: Brasil (2015), Herrmann org. (2014), Prefeitura Municipal de Rio Fortuna (2010).	20
Figura 7. Mapa geológico do perímetro urbano do município de Rio Fortuna.	23
Figura 8. Granito Pedras Grandes.	24
Figura 9. Sabreiras de extração dos alteritos arenosos do granito Pedras Grandes.	24
Figura 10. Horizontes superficiais dos solos desenvolvidos nos alteritos do granito Pedras Grandes.	25
Figura 11. Diabásio e alterito do diabásio	26
Figura 12. Afloramento de granito no fundo de vale formando corredeira entre setor suspenso de montante e baixo curso do Rio Fortuna	27
Figura 13. Depósito colúvio-aluvionar em setor granítico.	28
Figura 14. Deslizamento ativo em depósito colúvio sobre diabásio no perímetro urbano atual. Margem direita do Rio Braço do Norte (ref. Coord. UTM 684612/6885897).	28
Figura 15. Cicatrizes de deslizamentos recentes em encostas de forte declividade na periferia do perímetro urbano atual da bacia do Rio Fortuna sobre substrato de granito.	29
Figura 16. Mapa de declividade (em graus) de modelados de dissecação e de acumulação do município de Rio Fortuna. Fonte: curvas de nível com equidistância de 1 metro geradas a partir do MDT (SDS, 2011).	30
Figura 17. Localização das sondagens geofísicas por eletrorresistividade em Rio Fortuna.....	32

Figura 18. Aspectos da encosta onde foram feitas as sondagens geolétricas SEV01 e 02. ...	32
Figura 19. Corte de uma sabreira onde é visível a forte fraturação do diabásio que forma uma soleira dentro o granito.....	33
Figura 20. Sondagem Elétrica Vertical (SEV 01) em solo de substrato de diabásio alterado....	34
Figura 21. Sondagem Elétrica Vertical (SEV 02) em provável substrato de granito alterado. ...	34
Figura 22. Geometria do Talude A e do Talude B utilizados para cálculo do Fator de Segurança.	37
Figura 23. Variação do ângulo da encosta e teste do Fator de Segurança.	38
Figura 24. Superfícies de ruptura traçadas para os dois tipos de taludes pelo método de Bishop	38
Figura 25. Carta de suscetibilidade a deslizamentos nos setores não urbanizados do município de Rio Fortuna.....	41
Figura 26. Esquema metodológica para mapeamento das áreas susceptíveis a inundações... 43	
Figura 27. Etapas para a correção e geração de um MDT hidrológicamente consistente. Fonte: Nobre et al, 2011.	45
Figura 28. Procedimento para o cálculo do HAND. Fonte: Rennó et al, 2008.	46
Figura 29. Exemplo de classificação das cotas com base no tempo de retorno.....	47
Figura 30. Residências situadas próximas às margens do rio Fortuna afetadas por inundações recorrentes, sobretudo pelo evento de 1997 em que a altura da água alcançou 1,5 metros. Foto: Débora Yumi de Oliveira, 29/02/2016.....	48
Figura 31. Ponte sobre o rio Braço do Norte, ponto sem registros de transbordamento da calha. Foto: Débora Yumi de Oliveira, 29/02/2016.....	49
Figura 32. Carta de suscetibilidade à inundação no município de Rio Fortuna.	50
Figura 33. Imagem da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização Frente aos Desastres Naturais do setor não urbanizado do município de Rio Fortuna.....	53
Figura 34. Quantitativo de áreas das classes de aptidão no município de Rio Fortuna.....	54
Figura 35. Esquema empregado para disponibilização de dados na WEB.....	60

Lista de Quadros

Quadro 1. Procedimentos para geração de mapas a partir do material cartográfico da SDS na escala 1:10.000.	13
Quadro 2. Legenda da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização dos setores não urbanizados do município de Rio Fortuna.	55
Quadro 3. Descrição das camadas que compõem a base de dados	58
Quadro 4. Grupos de camadas do SIG.....	58
Quadro 5. Ferramentas empregadas na aplicação que disponibiliza dados do projeto na WEB...	60

Lista de Tabelas

Tabela 1. Desastres naturais no município de Rio Fortuna no período de 1980 a 2016, de acordo com os maiores totais de afetados e de atingidos por danos diretos – desabrigados e desalojados	21
Tabela 2. Valores de Fator de Segurança	36
Tabela 3. Fator de Segurança para as diferentes declividades consideradas para os solos associados às litologias presentes na área de estudo.	39

1. INTRODUÇÃO

Os desastres naturais no Brasil estão relacionados principalmente a processos de origem hidrometeorológica como inundações, enxurradas e deslizamentos nas encostas. A recorrência e magnitude desses eventos extremos motivaram a promulgação da Lei Federal Nº 12.608 de 10 de abril de 2012, que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil e estabelece diretrizes de amplo espectro voltadas à gestão e redução dos riscos de desastres naturais no país, envolvendo esforços da União, Estados e Municípios, com ênfase nas ações preventivas. Dentre essas ações, destaca-se a elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização, com base no mapeamento da suscetibilidade ambiental a processos físicos que possam representar ameaças futuras à população, em áreas com potencial de expansão urbana. Essas cartas constituem instrumento fundamental para a adequação dos planos diretores dos municípios mais suscetíveis às adversidades hidrometeorológicas no país, a fim de evitar a formação de novas áreas de risco, a partir do planejamento urbano de acordo com a aptidão física dos terrenos à urbanização.

O projeto desenvolvido em parceria com o Ministério das Cidades teve como objetivo principal a elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais, associados principalmente a deslizamentos e inundações, na escala de 1:10.000. As cartas elaboradas visam subsidiar o poder público municipal no planejamento do uso e ocupação do solo urbano, atendendo às diretrizes estabelecidas pela a Lei Federal 12.608/2012. Em seu Artigo 26, esta lei prevê que os municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos, devem incluir no plano diretor municipal o mapeamento das áreas suscetíveis a esses processos do meio físico. Já no seu Artigo 27, a referida lei determina que a aprovação de novos projetos de parcelamento do solo urbano considere os requisitos constantes da carta geotécnica de aptidão à urbanização, cuja elaboração requer o mapeamento prévio da suscetibilidade aos diferentes fenômenos do meio físico que possam causar desastres naturais.

A elaboração de cartas de suscetibilidade a deslizamentos e inundações possibilita a delimitação de zonas homogêneas do terreno quanto à probabilidade de

atuação dos processos do meio físico abordados, definindo zonas de alta, média e baixa suscetibilidade à ocorrência de determinado processo.

O mapeamento de suscetibilidade a deslizamentos, inundações e demais processos do meio físico nos municípios atendidos pelo presente projeto é fundamentado em estudos geológicos e hidrológicos. Esses estudos preliminares de suscetibilidade, aliados à realização de ensaios geotécnicos, permitiram a elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais, com o estabelecimento de classes de adequação ao uso e ocupação do solo urbano e de diretrizes voltadas à prevenção de riscos de desastres naturais.

O presente relatório apresenta os resultados obtidos na elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais para os setores não urbanizados do perímetro urbano do município de Rio Fortuna, e que apresentam potencial para expansão da ocupação urbana.

Os resultados do projeto são disponibilizados por meio de uma base georreferenciada de dados em ambiente *Web*, o que torna a carta geotécnica de aptidão à urbanização um instrumento acessível a todos os interessados, sendo de grande relevância para ações públicas de prevenção de desastres naturais e proteção da sociedade civil.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O desenvolvimento das cartas geotécnicas de aptidão à urbanização envolveu diferentes etapas de trabalho e estudos preliminares específicos, com a aplicação de diferentes procedimentos metodológicos. Essas etapas, abaixo relacionadas, executadas simultaneamente ou de forma sequencial:

- Definição das áreas de intervenção;
- Elaboração de base cartográfica, com a geração de curvas de nível a partir de Modelo Digital de Terreno (MDT);
- Inventário dos dados existentes na legislação municipal e dos registros de desastres por movimentos gravitacionais de massa e inundações;
- Utilização de Modelo Digital de Terreno (MDT) para realização de sombreamentos e análise do relevo, lineamentos e para geração de mapa de declividade;
- Levantamento geológico e geomorfológico de campo;
- Análise geotécnica das unidades litológicas representativas da geologia local;
- Levantamento de perfis geofísicos para conhecimento de espessura das formações superficiais;
- Controle de campo para mapeamentos de áreas inundáveis;
- Elaboração de cartas de suscetibilidade aos movimentos gravitacionais de massa e às inundações;
- Interpretação e cruzamento dos dados precedentes e elaboração da carta geotécnica de aptidão à urbanização;
- Implantação de banco de dados georreferenciados e disponibilização das cartas geotécnicas geradas em ambiente *Web*.

2.1. ÁREAS DE INTERVENÇÃO

As áreas de intervenção para elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais compreendem os setores não urbanizados, contidos no perímetro urbano vigente, regulamentado pela legislação municipal.

Para Rio Fortuna, a extensão do trabalho foi definida de acordo com os dados fornecidos pelos responsáveis técnicos do município, tais como: o Plano Diretor Municipal (Lei Complementar Nº19/2010) e os mapas que acompanham a Lei Complementar Nº20/2010.

Assim, o presente estudo delimitou como área de intervenção as superfícies não urbanizadas, observáveis em imagens aéreas recentes, presentes na zona urbana definida pelo Plano Diretor atualmente em vigor. Essas áreas ainda não ocupadas apresentam potencial para expansão urbana do município e, dessa maneira, foram objeto de intervenção para mapeamento de suscetibilidade aos processos físicos analisados, que resultou na Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização.

As áreas de intervenção foram delimitadas a partir da cobertura aerofotográfica da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS), referente ao ano de 2011, e da atualização dos dados por meio de imagens do Google Earth de maio de 2015 (Figura 1). O perímetro urbano do município de Rio Fortuna cobre aproximadamente uma área de 2,71km². Para delimitação das áreas de intervenção efetuou-se inicialmente a delimitação da área urbanizada do município, da ordem de 1,05km², que foi desconsiderada no estudo realizado. Esse procedimento permitiu definir as áreas de intervenção para elaboração da carta geotécnica de aptidão à urbanização, que totalizaram 1,66km².

Para que os processos geodinâmicos presentes nas proximidades dos limites da zona urbana legal não fossem desconsiderados, adotou-se uma margem de segurança, representada por uma expansão de 500m (buffer) a partir do perímetro urbano vigente e que foi igualmente mapeada.

As Áreas de Preservação Permanente (APP), que possuem restrição de ocupação, também são consideradas na carta geotécnica final de aptidão à urbanização, e podem ser visualizadas em ambiente *Web*. São áreas que correspondem às definições previstas na Lei Federal Nº 12.651/2012 (Código Florestal).

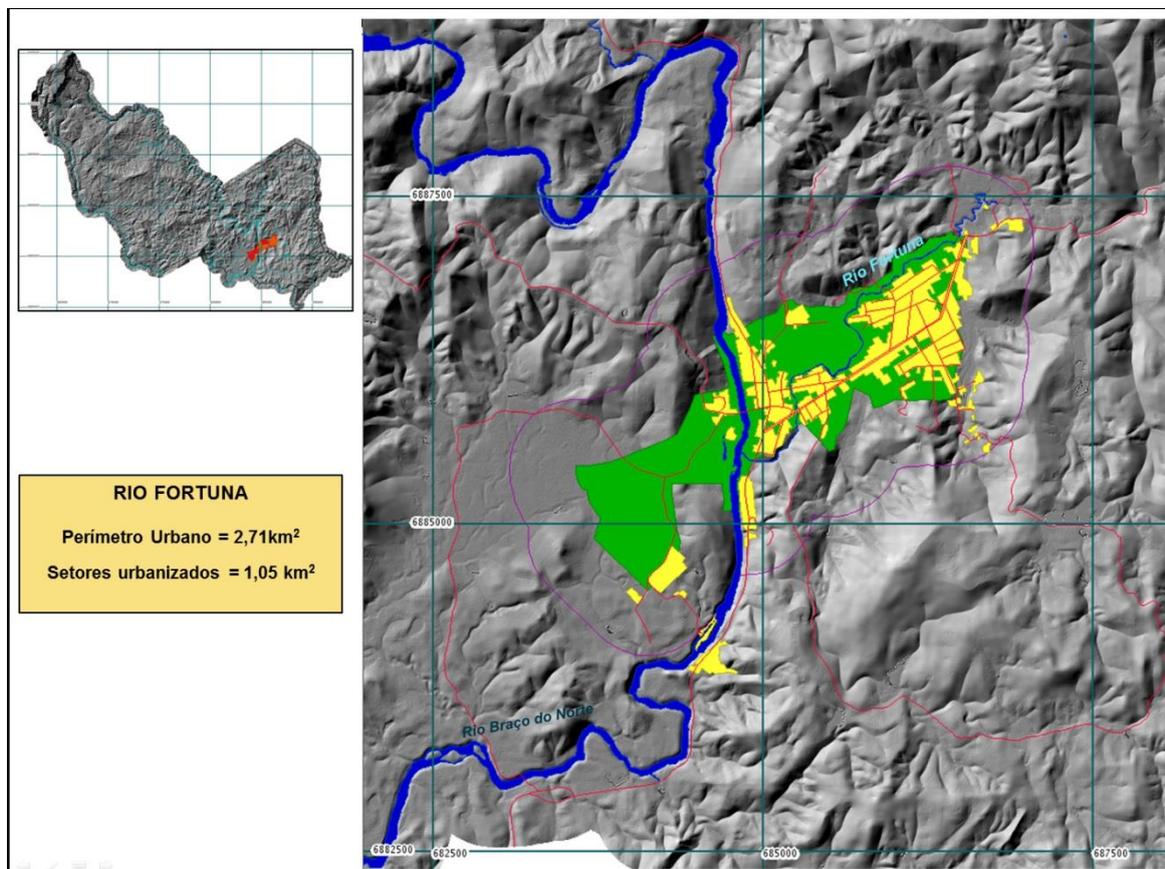


Figura 1. Limites do perímetro urbano (em verde) e das superfícies urbanizadas (em amarelo) das unidades territoriais do município de Rio Fortuna – 2015, gerado a partir do mosaico ortofotogramétrico de 2011, atualizado com imagens Google Earth de 2015. Fonte: Secretaria de Estado de Desenvolvimento Sustentável, 2011.

2.2. BASE CARTOGRÁFICA

Para o desenvolvimento do estudo adotou-se como base os produtos do levantamento aerofotogramétrico do estado de Santa Catarina realizado de 2010 a 2011, em escala de 1:10.000, disponibilizados pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS), bem como dados cartográficos da prefeitura municipal.

O Quadro 1 sintetiza os procedimentos efetuados para a delimitação das áreas de intervenção e para a geração de mapas de apoio ao mapeamento de susceptibilidade aos processos físicos abordados e à elaboração das cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais no município de Rio Fortuna.

O sistema de referência adotado para a representação dos dados e cartas foi o SIRGAS-2000, enquanto o sistema de projeção foi o Sistema de Coordenadas em Projeção Universal Transversa de Mercator – UTM no fuso 22S (código 31982 adotado pelo EPSG - *European Petroleum Survey Group*), tendo como datum vertical o Maregrafo de Imbituba/SC.

Quadro 1. Procedimentos para geração de mapas a partir do material cartográfico da SDS na escala 1:10.000.

Tema	Dados	Formato	Extensão	Fonte	Procedimentos
Limite do Projeto	Ortofotocartas Perímetro Urbano	Raster Vetorial	GeoTif shp	SDS Prefeituras	- Vetorização
Declividade e Sombreamento	MDT	Raster	GeoTif	SDS	- Converter dados GeoTif para IDRISI - Gerar mapa de declividades - Gerar mapas de Sombreamento Índices 315-30 e 45-30
Classes de Declividade	Mapa de Declividades	Raster	dat	SDS	- Classificação por faixas
Sistema Viário	Ortofotocartas	Raster	GeoTif	SDS	- Vetorizar sistema viário no Kosmo e ArcGIS
Mancha Urbana	Ortofotocartas	Raster	GeoTif	SDS	- Vetorizar mancha urbana no Kosmo e ArcGIS
Hidrografia	Vetores	Vetorial	shp	SDS	
Áreas Inundáveis	MDT e Ortofotocartas	Raster	GeoTif	SDS	- Gerar manchas de inundação para diferentes níveis - Validar áreas inundáveis em campo
Curvas de Nível	MDT	Raster	GeoTif	SDS	- executar algoritmo para geração automática de curvas de nível (equidistância de 5 metros) - definir curvas mestras e secundárias
Pontos Cotados	Ortofotocartas Curvas de Nível	Raster Vetorial	GeoTif shp	SDS LabGeop	- criar pontos em topos de morros e planícies - obter cotas pelo cruzamento dos pontos com o MDT
Toponímia de logradouros e localidades	sites com informações geográficas	WEB	WEB	WEB	- acessar fontes de informações na internet e inserir toponímias nas respectivas camadas
Áreas de Preservação Permanente - APP	Plano diretor Lei 12.651/2012	vetorial	shp	Prefeitura e Lei federal	- converter dados para sistema de referência e formato do projeto - digitalizar (quando em meio analógico)
Mapa Geológico	Mapas existentes e levantamento de campo	analógico vetorial	shp	IBGE/GERCO	- levantamento de campo - vetorização das feições
Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização	Cruzamento dos dados	vetorial	shp		- vetorização e publicação no WEB

3. ESTUDOS PRELIMINARES

3.1. INVENTÁRIO DE REGISTROS DE DESASTRES NATURAIS

A elaboração da série histórica dos registros de desastres ocasionados por fenômenos naturais no município de Rio Fortuna contempla a escala temporal para o período de 1980 a 2016. O levantamento possibilitou a elaboração de um inventário de registros no âmbito municipal e, na medida do possível, são também informadas as áreas atingidas do município, uma vez que os registros disponíveis, em sua maioria, não apresentam necessariamente essa informação.

O inventário elaborado teve como foco principal os desastres naturais relacionados a inundações e deslizamentos, embora outros tipos de eventos que atingem os municípios catarinenses também tenham sido levantados, como no caso de enxurradas, vendavais, entre outros.

Para realização do inventário foram consultadas fontes de dados oficiais e não-oficiais. Os documentos oficiais consistem em: formulários de Notificação de Desastres (NOPRED) e de Avaliação de Danos (AVADAN), Formulário de Informações do Desastre (FIDE), decretos, portarias, relatórios de danos e outros (tabelas, planilhas, ofícios, etc.). Esses dados foram obtidos principalmente através do Banco de Dados da Secretaria Nacional de Defesa Civil (BRASIL, 2015), disponibilizado pelo Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID).

Para complementar a série histórica, buscou-se registros não-oficiais oriundos das seguintes publicações: Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina (HERRMANN (org.), 2014); Resposta ao desastre em Santa Catarina no ano de 2008 (BRASIL, 2009); Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012 (UFSC, 2012); além de publicações em periódicos, anais de encontros científicos, trabalhos acadêmicos e dados publicados em jornais, quando disponíveis.

Os eventos levantados foram distribuídos cronologicamente, buscando atender aos dados a seguir:

- a) **COBRADE** (Classificação e Codificação Brasileira de Desastres)
- b) **Tipo de evento** (fenômenos naturais),
- c) **Data da ocorrência** (dia, mês e ano),

- d) **Área afetada** (bairros e ruas atingidos),
- e) **Danos Humanos** (subcategorias Afetados, Desabrigados, Desalojados, Mortes, e Outros),
- f) **Situação do Decreto** - Emergência (E) ou Calamidade Pública (CP),
- g) **Tipo de documento** - Relatório (R), Jornal (J), Decreto (D), Portaria (P), NOPRED (N), AVADAN (A), FIDE (F) ou Outro (O),
- h) **Fonte de pesquisa.**

Destaca-se que a possível ausência de um ou mais dados acima relacionados aos desastres registrados correspondem à inexistência de informação nas diferentes fontes de pesquisa. Isso se deve a algumas limitações encontradas durante a realização do inventário, como descrições incompletas quanto às ocorrências registradas e a existência de lacunas nas descrições da série histórica oficial dos desastres no município.

Ao final do levantamento, criaram-se critérios para eliminar os registros de eventos repetidos. Para isso, identificaram-se todas as ocorrências de mesma data, sendo a informação menos detalhada suprimida, priorizando os registros oficiais provenientes do S2ID (BRASIL, 2015). Em alguns casos, quando dois registros referentes ao mesmo evento apresentavam informações distintas, estas foram convergidas para um único dado, que passou a conter duas fontes de informação. Analisaram-se também registros com datas próximas e, a partir do tipo de documento e da fonte de informação, foi possível distinguir os eventos.

O inventário elaborado também apresenta, quando disponíveis, dados referentes aos afetados pelos desastres naturais ocorridos no município. Segundo definição da Estratégia Internacional para Redução de Desastres (UNISDR, 2017), as pessoas podem ser afetadas diretamente ou indiretamente pelos desastres naturais. Os afetados diretos incluem os indivíduos que sofreram danos relacionados à integridade física e a efeitos sobre a saúde; a população desabrigada, desalojada ou deslocada e as pessoas que sofreram danos diretos aos seus meios de vida, econômicos, físicos, sociais, culturais e ambientais. Quanto à população afetada indiretamente, inclui danos relativos a perturbações na produção de bens e serviços básicos, afetando a capacidade produtiva e a infraestrutura social e econômica.

Considerando os dados disponíveis nos registros de desastres levantados, o inventário elaborado considera como afetados diretos os indivíduos que sofreram danos humanos, em conformidade com documentos oficiais de registro de danos utilizado pela Defesa Civil, que incluem as pessoas afetadas na sua integridade física, como os óbitos, feridos, enfermos e desaparecidos ou que sofreram danos de curto ou longo prazo relacionados à infraestrutura de moradia, incluindo os deslocados, desalojados e desabrigados. Em função da forma de apresentação das informações nos registros oficiais, os danos diretos relativos ao comprometimento dos meios de sobrevivência são associados aos danos indiretos causados pelos desastres.

Os resultados do inventário de desastres para o município de Rio Fortuna abrangem um período de 36 anos (1980 a 2016), que corresponde à série histórica de registros disponível nos órgãos de Defesa Civil e publicações.

O levantamento totalizou 21 ocorrências, as quais estão representadas na Figura 2. As enxurradas são as responsáveis pelo maior número de ocorrências, com 16 registros, enquanto inundações respondem por 2 registros e vendavais, granizos, alagamentos por 1 registro cada. Não há registros oficiais de desastres relacionados a deslizamentos.

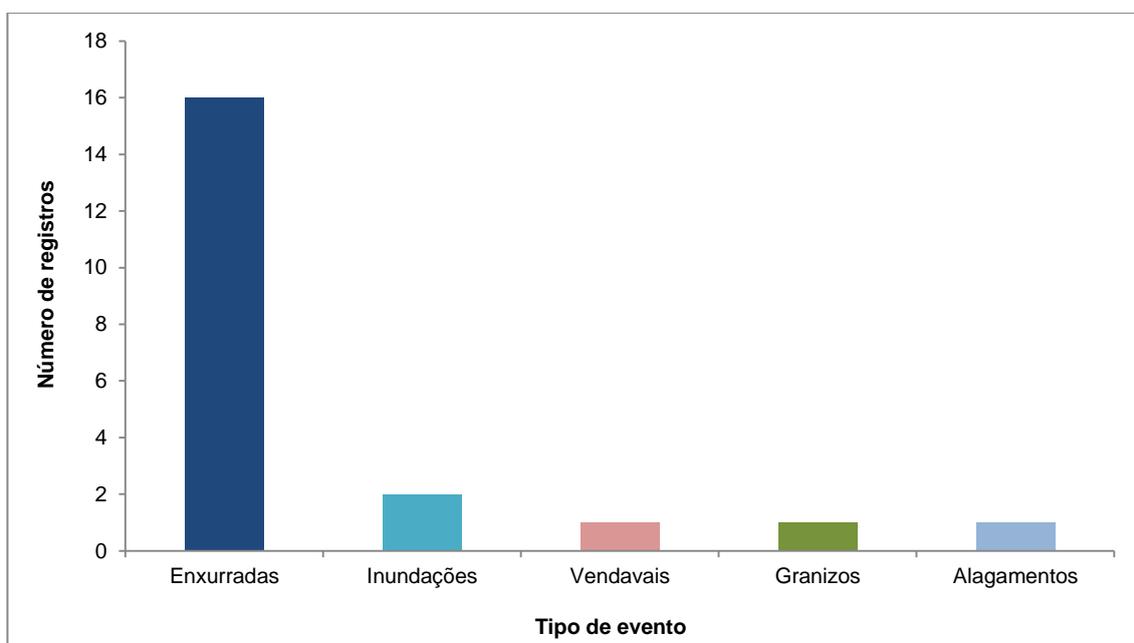


Figura 2. Total de registros de desastres por tipo de evento no município de Rio Fortuna, período de 1980 a 2015. Fonte: Brasil (2015), Herrmann org. (2014), Prefeitura Municipal de Rio Fortuna (2010).

Com relação à frequência anual dos desastres, as enxurradas foram os desastres mais recorrentes no município comparativamente aos demais tipos de desastres. A maior recorrência de registros consta a partir dos anos 2000, com destaque para o período entre os anos 2010 e 2013, com média de 2 a 3 registros ao ano. Quanto às inundações, os casos referem-se aos anos de 1983 e 2001 (Figura 3).

Nota-se que a ausência de dados de deslizamentos nos anos da série histórica pode estar associada a lacunas no registro das ocorrências, ou a imprecisão no momento do registro, no caso de desastres motivados por mais de uma tipologia de evento. A mesma observação pode ser realizada em relação ao número de registros de inundações no município durante o período analisado, que pode ter sido subestimado, com a possibilidade de eventos dessa natureza terem sido registrados como enxurradas.

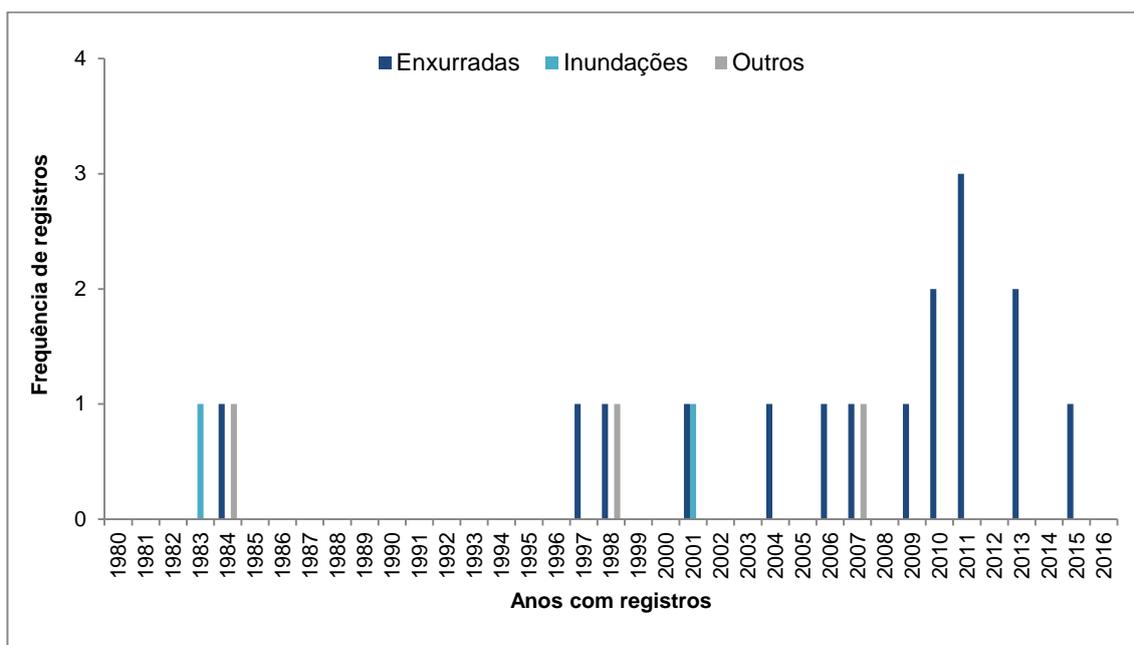


Figura 3. Frequência anual dos registros de desastres por tipo de evento no município de Rio Fortuna no período de 1980 a 2016. Fonte: Brasil (2015), Herrmann org. (2014), Prefeitura Municipal de Rio Fortuna (2010).

Quanto à frequência mensal dos desastres, a Figura 4 mostra a distribuição dos registros no município ao longo dos meses no período analisado. As enxurradas estão distribuídas ao longo de todo o ano, embora com maior número de registros nos meses de verão e inverno. Os meses de fevereiro e agosto apresentaram maior número de registros, com 3 ocorrências em cada. No caso das inundações, os dados indicam registros nos meses de julho e outubro.

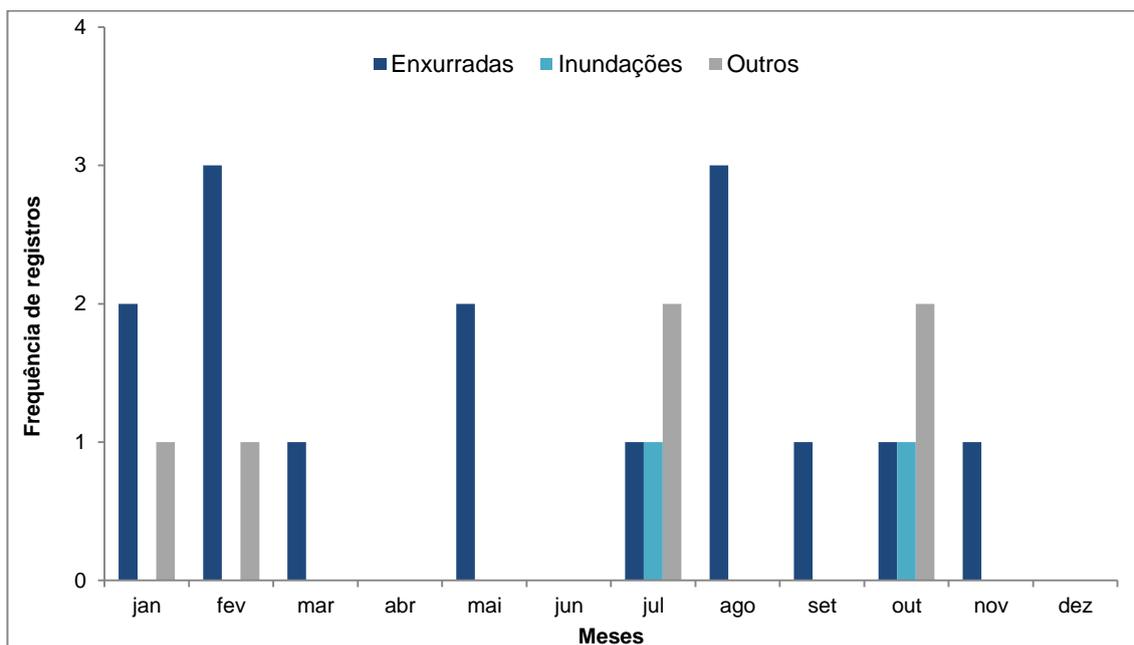


Figura 4. Frequência mensal dos registros de desastres por tipo de evento no município de Rio Fortuna. Fonte: Brasil (2015), Herrmann org. (2014), Prefeitura Municipal de Rio Fortuna (2010).

Em relação ao impacto dos desastres registrados, com base nos dados coletados, verificou-se um total de 19.826 pessoas afetadas por eventos severos que atingiram o município de Rio Fortuna entre 1980 e 2016.

Os afetados diretamente e indiretamente somaram 397 e 19.429 pessoas respectivamente, conforme indicado na Figura 5, que também demonstra os totais destas duas categorias de atingidos por tipologia de desastre.

Salienta-se que, em decorrência da metodologia utilizada no registro de danos pelos documentos oficiais, a população afetada diretamente pelos desastres naturais no município de Rio Fortuna no período analisado pode estar subestimada, na medida em que os danos diretos ocasionados pelo impacto dos eventos severos levantados nos meios de vida dos indivíduos tenham sido contabilizados como danos indiretos.

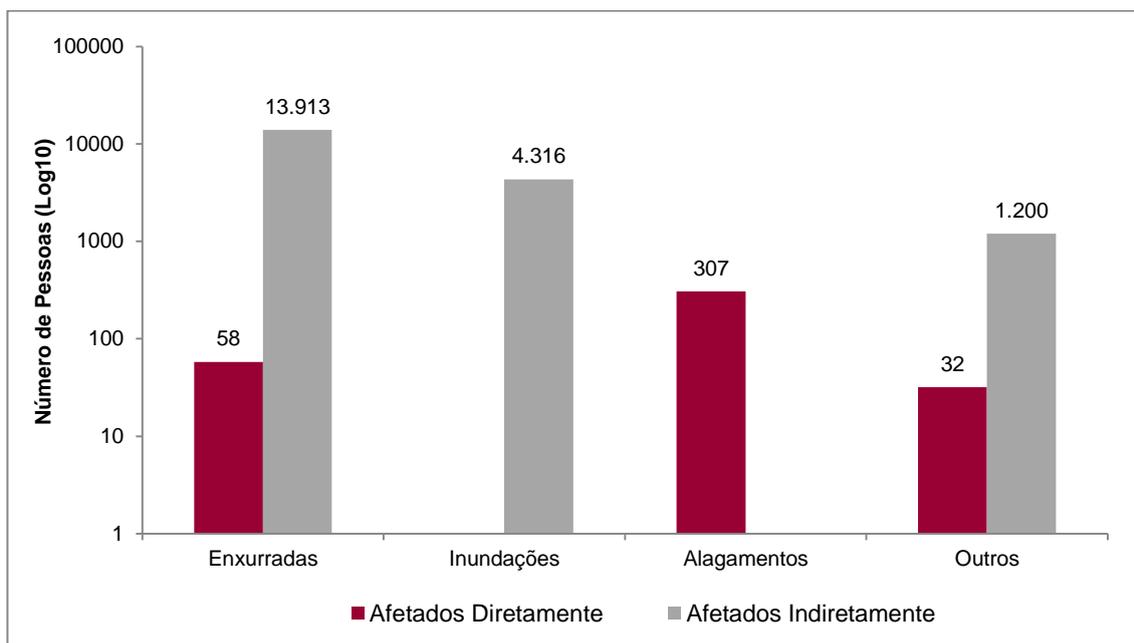


Figura 5. Totais de afetados direta e indiretamente por tipologia de desastre no município de Rio Fortuna. Fonte: Brasil (2015), Herrmann org. (2014), Prefeitura Municipal de Rio Fortuna (2010).

Com base nos dados coletados, a Figura 6 apresenta a distribuição de afetados diretos, referentes aos danos humanos, de acordo com o tipo de desastre. Ao longo do período analisado, o evento de alagamento foi responsável pelo maior número de danos humanos diretos. Registraram-se 150 desabrigados, 150 desalojados e 7 feridos somando-se 307 afetados diretos. Nos episódios de enxurradas foram registrados oficialmente: 49 desalojados, 5 enfermos e 4 feridos, totalizando 58 afetados diretos.

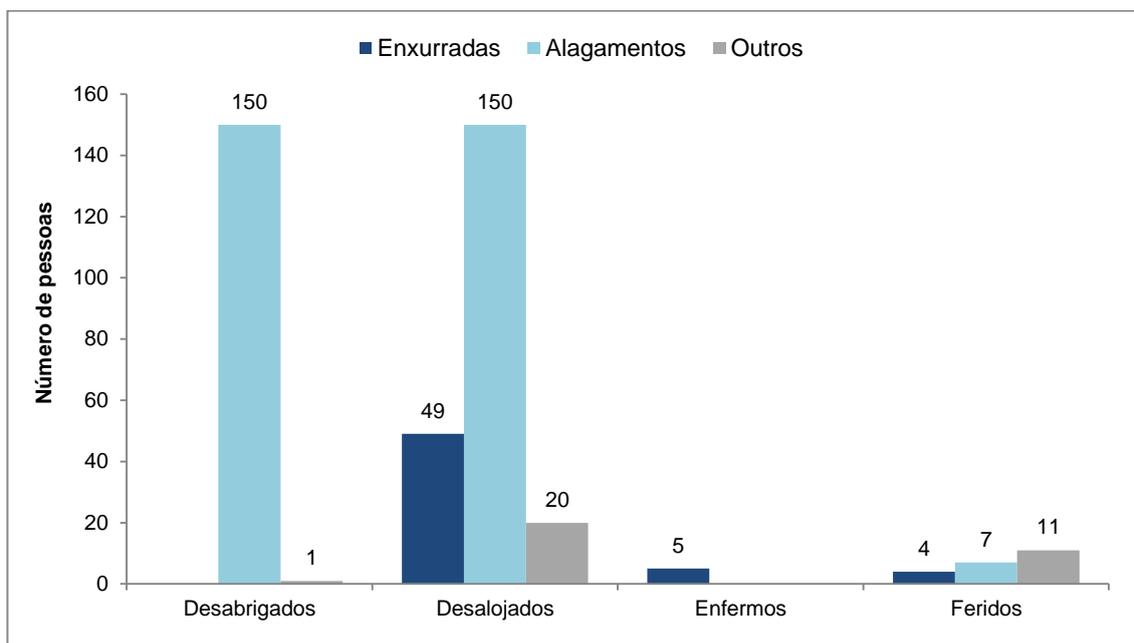


Figura 6. Totais de danos humanos diretos por tipologia de desastre no município de Rio Fortuna no período de 1980 a 2016. Fonte: Brasil (2015), Herrmann org. (2014), Prefeitura Municipal de Rio Fortuna (2010).

A Tabela 1 apresenta os eventos severos ocorridos no município no período em análise e os respectivos totais em número de pessoas atingidas por danos humanos, relativos aos dados de desabrigados, desalojados, feridos e enfermos e, quando disponíveis, as áreas do município mais atingidas. Os maiores totais de afetados estão representados pelos desastres relacionados a enxurradas e inundações, ocorridos nos meses de fevereiro e outubro de 2001, com registros de 4.316 afetados indiretos em cada ocorrência. A enxurrada de 2004 pode ser considerada tão severa quanto aos eventos de 2001, visto que o total de afetados também superou 4.000 pessoas. No evento de fevereiro de 2006 o número de afetados foi menor, total de 2.056 pessoas, e deixou 31 desalojados. No desastre relacionado à queda de granizo em outubro de 2007, foram 1.200 pessoas afetadas, 1 pessoa ficou desabrigada e 20 desalojadas, sendo resultado de muitas localidades atingidas.

Tabela 1. Desastres naturais no município de Rio Fortuna no período de 1980 a 2016, de acordo com os maiores totais de afetados e de atingidos por danos diretos – desabrigados e desalojados

Eventos	Áreas afetadas	Afetados	Desabrigados	Desalojados
Enxurrada 04/02/2001	Todo o território do município.	4.316	–	–
Inundação 01/10/2001	Todo o território do município.	4.316	–	–
Enxurrada 21/07/2004	Todo o território do município.	4.220	–	–
Enxurrada 17/02/2006	Localidades: Rio Facão, Rio Areão, Alto Rio Pequeno, Capoeirão, Serrinha, Espraiado, Boa Vista, Cachoeira Bracinho do Rio dos Bugres, Rio Azedo, Rio dos Bugres, Rio Chapéu, Barra do Rio Chapéu, Salto do Rio Chapéu, Barra do Rio dos Bugres, Rio Café, Rio Branco, Rio Pinto.	2.056	–	31
Granizo 20/10/2007	Bairros: Centro. Localidades: Alto Rio Fortuna, Rio Branco, Rio Pinto, Rio Bravo Baixo, Barra do Rio Chapéu, Rio Chapéu, Rio dos Bugres, Seninha, Capoeirão, Rio Otília, Rio Claro.	1.200	1	20

Fonte: Brasil (2015), Herrmann org. (2014), Prefeitura Municipal de Rio Fortuna (2010).

De acordo com os dados levantados, as áreas mais afetadas por enxurradas no município de Rio Fortuna foram localidades como: Rio Facão, Rio Areão, Alto Rio Pequeno, Capoeirão, Serrinha, Espraiado, Boa Vista, Cachoeira Bracinho do Rio dos Bugres, Rio Azedo, Rio dos Bugres, Rio Chapéu, Barra do Rio Chapéu, Salto do Rio Chapéu, Barra do Rio dos Bugres, Rio Café, Rio Branco, Rio Pinto e o bairro Centro.

É importante destacar que os resultados do inventário de desastres naturais para o município de Rio Fortuna podem ter subestimado a realidade local, devido a possíveis lacunas existentes nos registros oficiais de ocorrências. Essas lacunas podem referir-se a imprecisões nas informações contidas nos registros disponíveis ou ainda a lacunas nos registros de ocorrências, que podem estar limitados aos eventos de maior magnitude, principalmente nas primeiras décadas do período analisado.

Nesse sentido, destaca-se que no S2ID (BRASIL, 2015) os eventos de média e pequena magnitude também passaram a ser registrados pelos municípios, independentes do reconhecimento federal de estado de emergência. Esta medida possui papel relevante na complementação do banco de dados nacional e deverá contribuir para o estabelecimento de uma série histórica de informações mais completa acerca dos diferentes tipos de desastres que atingem os municípios brasileiros. Entretanto, salienta-se a importância de ações paralelas de cada coordenadoria municipal de Defesa Civil

para o registro histórico de todos os tipos de eventos, de modo a utilizá-lo como ferramenta de prevenção e mitigação de desastres em áreas suscetíveis e de risco.

3.2. BASES GEOLÓGICAS E GEOMORFOLÓGICAS

3.2.1. Geologia

Em termo geológico, o município de rio Fortuna está situado no limite do embasamento cristalino do Leste catarinense e das formações sedimentares da Bacia do Paraná. As áreas de rochas sedimentares da bacia do Paraná que ocorrem na parte central e oeste do município são ausentes no perímetro urbano. A sede municipal está situada no Sudeste do município em planícies aluviais dominadas por colinas dissecadas em um substrato de granito na confluência dos rios Braço do Norte e Rio Fortuna.

Na ausência de mapa de detalhe foi necessário efetuar um levantamento de campo das formações geológicas (Figura 7). Foi possível identificar no setor de estudo que o granito Pedras Grandes que constitui o embasamento proterozoico é recortado por numerosas injeções de diabásio. Foram também identificados diversos depósitos aluviais, alguns atuais, outros que recobrem terraços aluviais mais antigos.

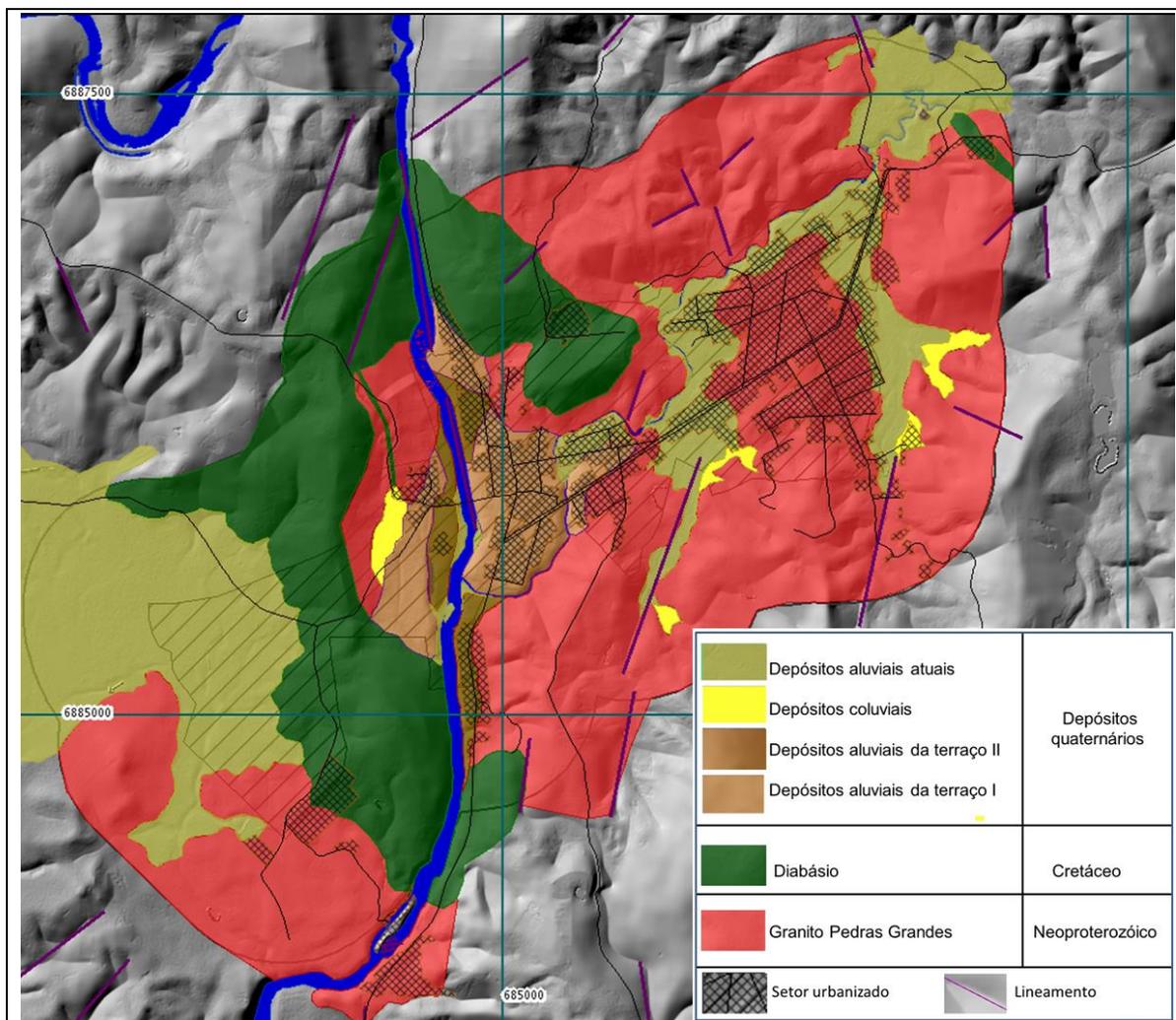


Figura 7. Mapa geológico do perímetro urbano do município de Rio Fortuna.

3.2.1.1. Granito da Suíte Pedras Grandes

O granito da Suíte Pedras Grandes que forma o substrato rochoso do setor mapeado (Figura 8) corresponde a um granito claro, róseo, grosso a muito grosso, porfiróide com cristais de feldspatos de dimensões centimétricas. Estas rochas podem ser relacionadas à fácies Vila de Penha definido por Bitencourt *et al.*, 2008.

Os solos residuais desenvolvidos a partir do Granito Pedras Grandes constituem formações arenosas de alteração identificadas nas encostas e topos de todas as colinas com espessuras variáveis entre 5 e 10 metros, utilizadas para extração de saibro (Figura 9). Na parte superficial, os horizontes dos solos residuais, são em geral poucos argilosos

(Figura 10). O granito não alterado encontra-se em fundos de vale (figura 12) e segundo informações fornecidas pela responsável da Defesa Civil, em alguns pontos ao longo da avenida principal seja a um nível que corresponde a Terraço I.



Figura 8. Granito Pedras Grandes.



Figura 9. Sabreiras de extração dos alteritos arenosos do granito Pedras Grandes.



Figura 10. Horizontes superficiais dos solos desenvolvidos nos alteritos do granito Pedras Grandes.

3.2.1.2. Diabásio

Os afloramentos de Diabásio (Figura 11) constituem o substrato rochoso de grande parte do perímetro urbano de Rio Fortuna e ocorrem em duas formas.

A primeira, em Diques de Diabásio, forma de ocorrência regional frequente, como aquele dique situado nas proximidades do cemitério da cidade, no setor leste do perímetro urbano.

A segunda, em Soleiras de Diabásio de expressiva extensão lateral. Encontra-se cortada pelo curso do rio Braço do Norte em estreito talvegue encaixado à montante do perímetro urbano. Esta soleira de diabásio ocorre, provavelmente, entre o embasamento granítico e as formações sedimentares basais da Bacia do Paraná que afloram na parte Noroeste da área mapeada. Os solos residuais desenvolvidos a partir dos diabásios são vermelhos e argilosos.



Figura 11. Diabásio e alterito do diabásio

3.2.1.3. Depósitos aluvionares quaternários

Ocorrem como terraços sedimentares em três níveis no setor de confluência dos rios Braço do Norte e Fortuna na jusante da garganta percorrido pelo Rio Braço do Norte através a soleira de diabásio. O nível de terraço superior I é em grande parte já urbanizado na margem esquerda e não foi possível ter informações sobre existência ou não de depósitos aluviais conservados, mas na margem direita, os aluviões com seixos rolados foram encontradas entre 4 e 5 metros de profundidade durante aberturas de poços residenciais. Os depósitos aluviais do nível II são arenosos e situados pouco acima do nível atual.

Os depósitos aluviais atuais III são arenosos ao longo dos principais rios e areno-argilosos ou argilo-arenosos nas planícies úmidas vizinhas que são em grande parte inundáveis. No vale do rio Fortuna eles situam-se em setores de vales suspensos acima do nível do rio principal (Figura 12).



Figura 12. Afloramento de granito no fundo de vale formando corredeira entre setor suspenso de montante e baixo curso do Rio Fortuna

3.2.1.4. Depósitos de encosta e/ou colúvio-aluvionares

Os depósitos de encosta e/ou colúvio-aluvionares recobrem a parte inferior de diversos vertentes de forte declividade em substrato granítico (Figuras 13 a 15) ou de diabásio (Figura 14). Num corte observado no campo atrás de um pequeno loteamento em construção foram observadas camadas arenosas inclinadas indicativas de deposição colúvio-aluvionar por escoamento superficial (Figura 13).

Várias cicatrizes de deslizamentos foram identificados em diversos lugares nos depósitos de encosta (Figura 14), assim como em encostas de fortes declividades; elas são em geral situadas na periferia imediata do perímetro urbano, mas constituem provas que esses depósitos devem ser considerados como substratos frágeis para possíveis construções ou obras em casa de extensão do perímetro urbano atual (Figura 15).



Figura 13. Depósito colúvio-aluvionar em setor granítico.



Figura 14. Deslizamento ativo em depósito colúvio sobre diabásio no perímetro urbano atual. Margem direita do Rio Braço do Norte (ref. Coord. UTM 684612/6885897).



Figura 15. Cicatrizes de deslizamentos recentes em encostas de forte declividade na periferia do perímetro urbano atual da bacia do Rio Fortuna sobre substrato de granito.

3.2.2. Geomorfologia

No sopé da Serra Geral no limite Noroeste do município, a maior parte do município de Rio Fortuna é situada no contato Norte da Depressão da Zona Carbonífera Catarinense e o Sul das Serras do Leste Catarinense. A hipsometria do município é marcada pela grande amplitude altimétrica variando de 100 a 1627 metros. O relevo do noroeste do município de Rio Fortuna está situado na borda da Serra Geral (Sul do Campo dos Padres) que forma uma escarpa acima de um pequeno setor montanhoso. A maior parte do resto do município apresenta morros de diversas amplitudes e declividades, enquanto no setor sudeste a sede municipal está situado em planícies

aluviais cercadas por colinas de altitude que variam entre 100 e 200 metros na confluência dos rios Braço do Norte e Rio Fortuna (Figura 16).

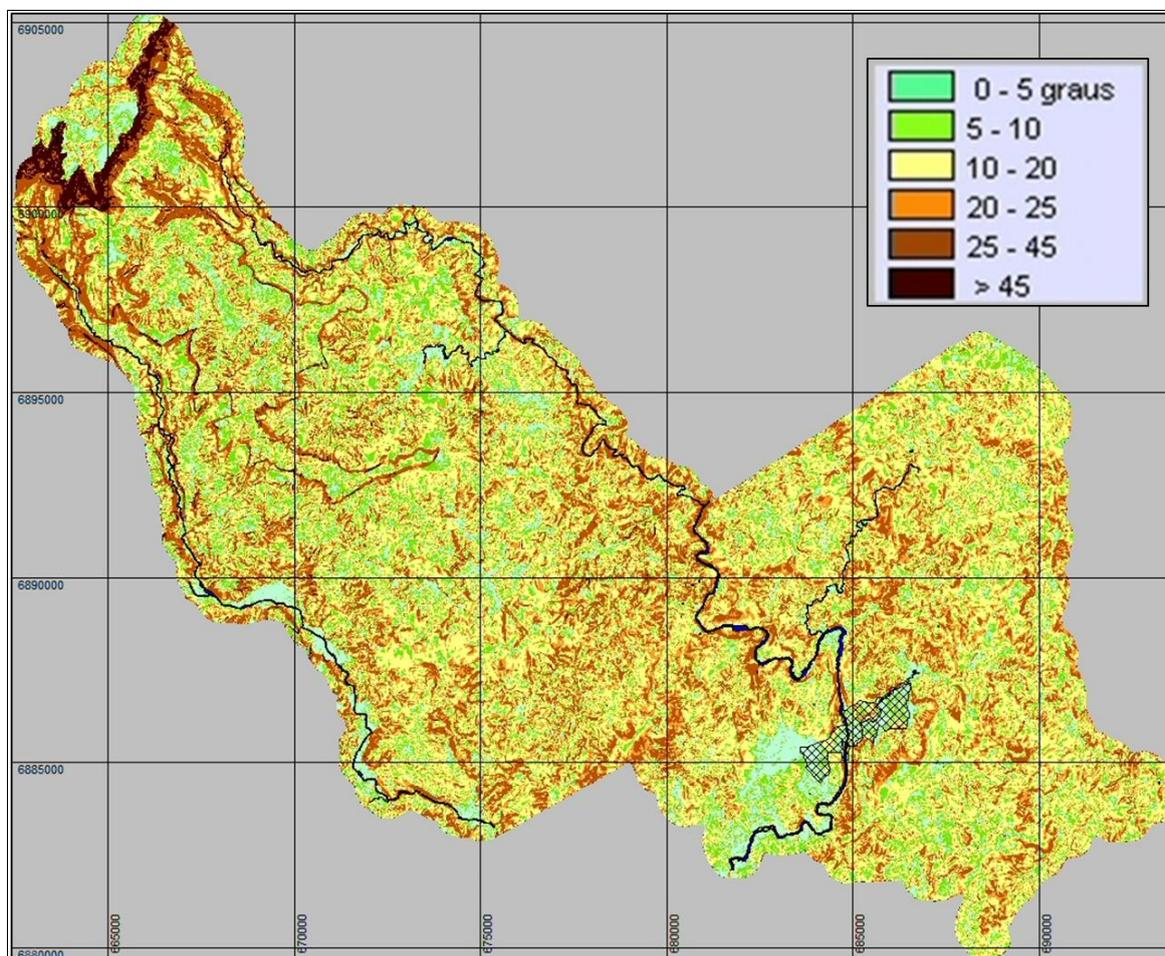


Figura 16. Mapa de declividade (em graus) de modelados de dissecação e de acumulação do município de Rio Fortuna. Fonte: curvas de nível com equidistância de 1 metro geradas a partir do MDT (SDS, 2011).

3.2.2.1. Modelados de Dissecação

O modelado de dissecação na área de estudo forma as colinas do maciço cristalino e dos diabásios com elevações que apresentam baixa amplitude altimétrica. As cristas e vales encontram-se alinhados no sentido das lineações principais, atestando o controle estrutural na dissecação do relevo. As encostas apresentam perfil côncavo ou convexo íngreme. As encostas convexas dominantes são marcadas pela presença de alteritos, enquanto as encostas côncavas são recobertas por depósitos colúvio-aluvionares.

3.2.2.2. Modelados de Acumulação

Os modelados de acumulação na área do perímetro urbano do município de Rio Fortuna constituem formas de relevo associadas aos depósitos inconsolidados de origem fluvial e coluvial.

Os modelados de acumulação fluvial na área de estudo são representados pela planície de inundação dos rios Braço do Norte e Fortuna, respectivamente. Ocupam, principalmente, a parte central e centro-oeste do perímetro urbano de Rio Fortuna e resultam da acumulação de sedimentos, predominantemente arenosos na planície do rio Fortuna, mais grosseiros com cascalhos rolados ao longo no leito do Rio Braço do Norte.

3.2.3. Levantamento Geofísico

Os levantamentos geofísicos foram efetuados com intuito de definir a espessura de solo, assim como, a posição do topo rochoso e o nível do lençol freático. São métodos não destrutivos de rápida execução executados em encosta por Sondagem Elétrica Vertical (SEV).

Duas sondagens elétricas verticais (SEV 1 e 2) foram realizadas para obter dados sobre a espessura e a saturação dos solos em uma encosta (Figura 17 e Figura 18). Nesta, os substratos de granito e de diabásio são interestratificados e apresentam uma forte fraturação como é visível nos cortes de diversas sabreiras (Figura 19) e onde há presença de um deslizamento recente, ainda ativo. A sondagem SEV 01 atingiu 21,53 metros de profundidade, enquanto a SEV 02 48,8 metros.

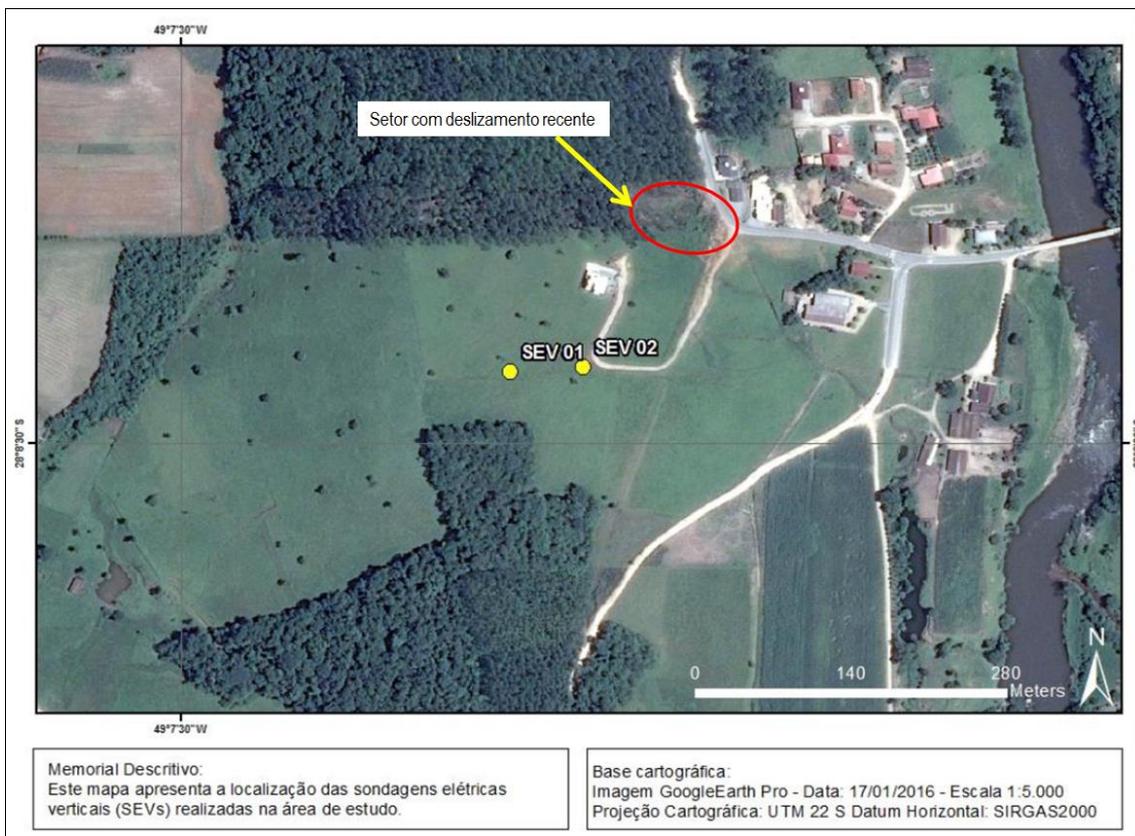


Figura 17. Localização das sondagens geofísicas por eletrorresistividade em Rio Fortuna.



Figura 18. Aspectos da encosta onde foram feitas as sondagens geolétricas SEV01 e 02.



Figura 19. Corte de uma sabreira onde é visível a forte fraturação do diabásio que forma uma soleira dentro o granito.

Os resultados das sondagens representados pelas Figura 20 e Figura 21 mostram uma baixa resistividade dos solos e formações subjacentes até grande profundidade que é provavelmente função da saturação das formações e a forte fraturação do substrato rochoso, o que explica a presença de um deslizamento situado na proximidade do local (Figura 14).

A diferença de resistividade entre as duas sondagens pode estar relacionada com a presença de formações de alteração de dois substratos diferentes, os alteritos do granito (Figura 21) sendo mais permeáveis, por consequência, menos saturados que os alteritos de diabásio, estes mais saturados (Figura 20) que ocupam a parte mais elevada da encosta e são assim, localmente, mais suscetíveis aos processos gravitacionais de massa. Para confirmar estas hipóteses, em caso de construção, recomenda-se a execução de sondagens rotativas.

O relatório da Sondagem Elétrica Vertical (SEV) encontra-se no Anexo 1.

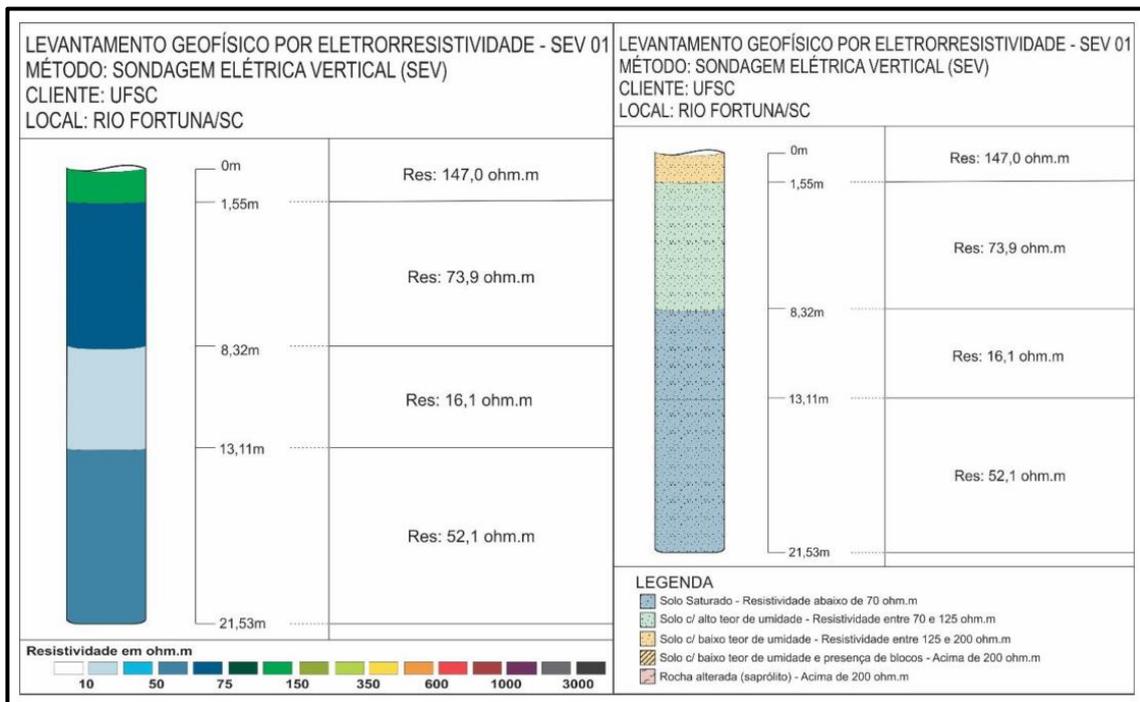


Figura 20. Sondagem Elétrica Vertical (SEV 01) em solo de substrato de diabásio alterado.

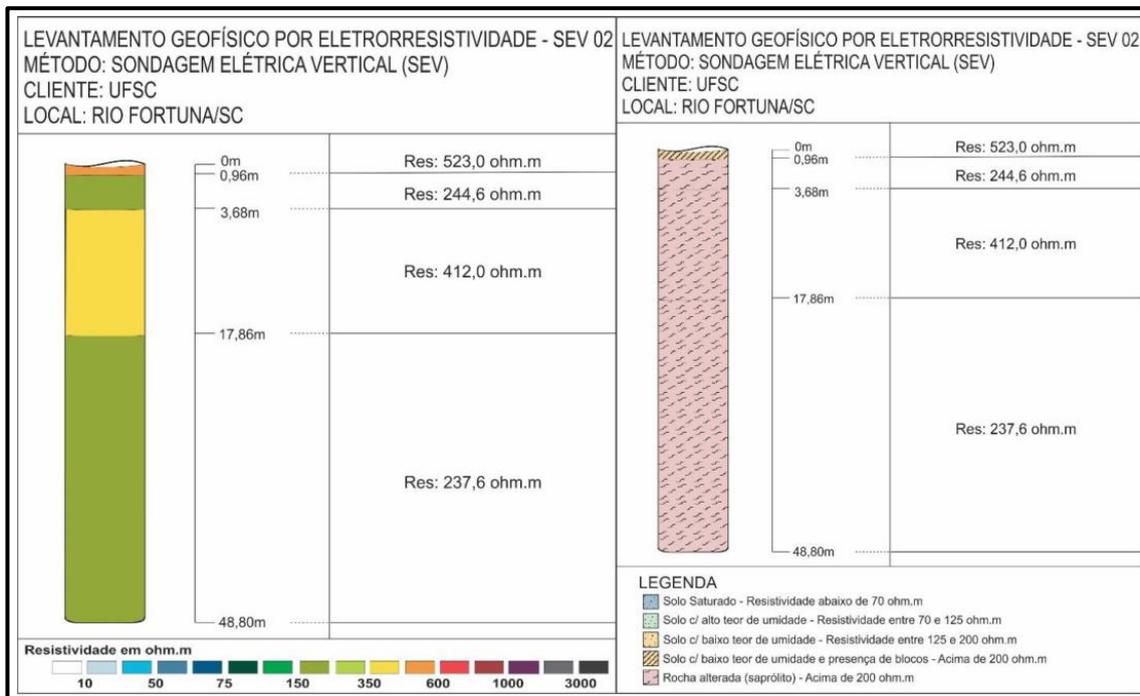


Figura 21. Sondagem Elétrica Vertical (SEV 02) em provável substrato de granito alterado.

3.2.4. Estudo Geotécnico

Com base em dados geotécnicos obtidos por meio do ensaio de Cisalhamento Direto foi possível analisar a estabilidade de taludes na área de estudo para encostas representativas das diferentes litologias identificadas, com o objetivo de definir o ângulo de declividade limite para a ocorrência de movimentos gravitacionais de massa. Os ensaios geotécnicos permitiram o cálculo do fator de segurança (FS) para análise de rupturas rotacionais, enquanto para análises de rupturas planares ou translacionais foi utilizado o modelo SHALSTAB (*Shallow Slope Stability Model*) (DIETRICH e MONTGOMERY, 1998), que complementaram estes estudos.

A análise da estabilidade de um determinado talude apresenta diversos métodos analíticos e gráficos, onde a grande maioria avalia o elemento denominado Fator de Segurança (FS) ou Coeficiente de Segurança (CS) para estimar se uma encosta encontra-se em equilíbrio. Para realizar a análise da estabilidade de taludes de forma pontual, deve sempre ser consultada a norma brasileira NBR 11682 (1991) para maiores detalhes.

Os métodos que são baseados na teoria do equilíbrio limite, de uma forma geral, consistem em analisar as condições mais desfavoráveis das forças que atuam para a instabilização do maciço, em comparação com as forças que resistem. Logo, o FS é obtido pela razão entre a soma das forças resistentes ao movimento de massa e das cisalhantes:

$$FS = \frac{\Sigma \text{ das forças resistentes}}{\Sigma \text{ das forças cisalhantes}}$$

Desta forma, têm-se as seguintes relações:

- a) caso o FS apresente valores abaixo de 1, se implantado o talude (através de um corte ou aterro), este irá romper.
- b) caso o FS apresente valor igual a 1, as forças resistentes são iguais às formas atuantes. Desta forma, esta condição é considerada iminente à ruptura.

- c) caso o FS apresente valores maiores que 1, o talude é considerado estável. Além disso, quanto maior for o valor apresentado por FS, mais estável será o talude.

Considerando os métodos de avaliação de elementos (parâmetros) de segurança, os projetos básicos devem ser analisados com vistas à solução programada, com a adoção de métodos que melhor se enquadrem ao mecanismo de ruptura provável ou ao tipo de instabilidade potencial determinado pela análise das investigações.

Desta forma, a Tabela 2 apresenta valores de graus de segurança necessários tendo como base a avaliação das encostas por modelos matemáticos.

Tabela 2. Valores de Fator de Segurança

Grau de segurança necessário ao local	Métodos baseados no equilíbrio-limite Padrão: fator de segurança mínimo	Tensão Deformação Padrão: deslocamento máximo
Alto	1,5	Os deslocamentos máximos devem ser compatíveis com: - grau de segurança necessário ao local; - a sensibilidade de construções vizinhas; - geometria do talude. Os valores assim calculados devem ser justificados.
Médio	1,3	
Baixo	1,15	

Para este projeto, adotou-se o $FS = 1,5$, considerado um grau de segurança alto, conforme a NBR 11682 (1991), acima do qual as encostas são consideradas estáveis. Devido a aplicação do estudo geotécnico para fins de mapeamento, para um baixo grau de segurança adotou-se um FS de 1,15, um pouco acima do valor preconizado pela normativa técnica, nos casos de estudos geotécnicos em escala de projeto ($FS=1,0$).

Calculou-se o Fator de Segurança com o objetivo de definir o ângulo de declividade limite para a ocorrência de deslizamentos em dois tipos de encostas: talude A, referente às encostas naturais e talude B, para os taludes de corte, conforme mostra a Figura 22.

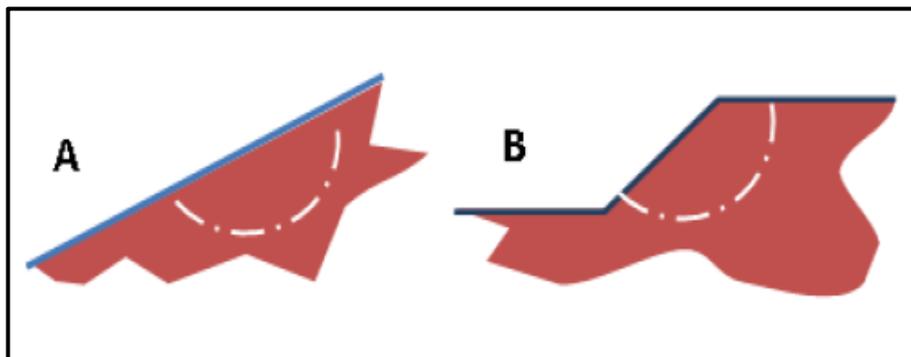


Figura 22. Geometria do Talude A e do Talude B utilizados para cálculo do Fator de Segurança.

Para o cálculo do FS foi utilizado o software MacStars 2.2 (*MACCafferri STabilityAnalysis of Reinforced Slopes*). No MacStars 2.2, foi necessário estabelecer previamente a geometria dos taludes com valores de x e y [m]. Como dado de entrada, foram inseridas as propriedades do solo obtidas por meio dos ensaios de cisalhamento direto: coesão [Kpa], ângulo de atrito [$^{\circ}$] e peso específico saturado [KN/m^3].

O solo saturado possui menor FS, e isso se deve ao fato que a adição da água provoca o aumento de peso, diminuição da coesão e aumento da poropressão. Assim, simulando o cenário mais desfavorável, foi calculado o FS para o talude saturado. A elevação do nível d'água nestas condições aumenta as pressões neutras, reduzindo as tensões normais efetivas e a resistência ao cisalhamento, podendo levar os taludes à ruptura.

Após essas etapas foi calculado o FS por meio de superfícies de rupturas circulares, utilizando o método de cálculo rígido de Bishop. Além de calcular o FS para as declividades de 15° , 20° , 25° , 30° e 35° , calculou-se o ângulo limite. Para isso, a geometria do talude (variação do ângulo) foi modificada até o FS ser igual a 1,5 (Figura 23). Quando satisfeita essa condição foi calculado o ângulo de declividade crítica do talude (θ) por trigonometria.

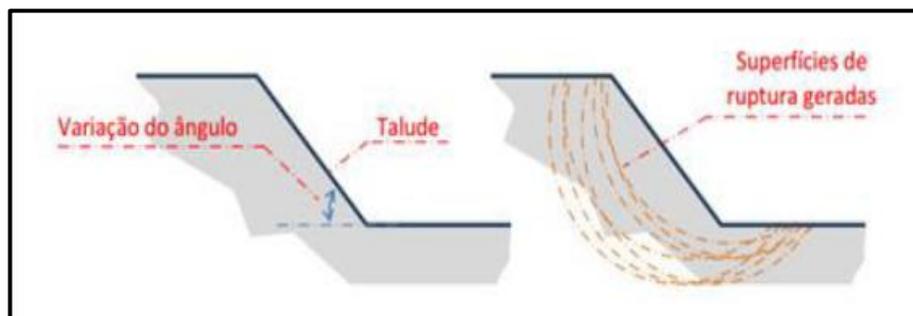


Figura 23. Variação do ângulo da encosta e teste do Fator de Segurança.

Na Figura 24 podem-se observar as superfícies de ruptura traçadas pelo MacStars nos dois tipos de taludes. A superfície em branco é a mais próxima do valor limite considerado, de $FS = 1,5$.

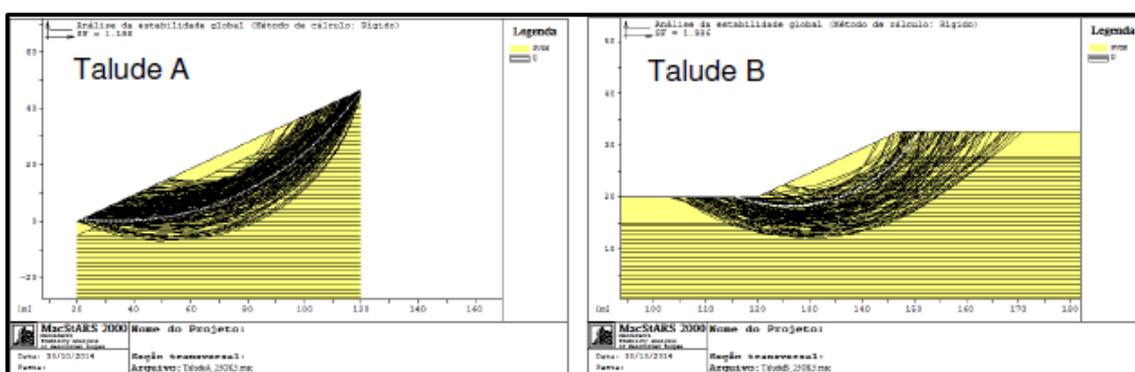


Figura 24. Superfícies de ruptura traçadas para os dois tipos de taludes pelo método de Bishop

Assim, foi possível estimar de forma global, tendo como base os FS, as áreas de maior ou menor estabilidade, apesar de considerar que este processo não seja o ideal para estimar a segurança local, sendo necessária a aplicação da NBR-11.682 (1991) para cada caso pontual.

3.2.4.1. Estabilidade de taludes no município de Rio Fortuna

Com os dados geotécnicos obtidos por meio do ensaio de Cisalhamento Direto e utilizando um software de estabilidade de encostas, calculou-se o Fator de Segurança com o objetivo de definir o ângulo de declividade limite para a ocorrência de movimentos de massa.

A Tabela 3 apresenta os resultados do Fator de Segurança calculados para as declividades de 15° , 20° , 25° , 30° e 35° e a declividade para intervalos de FS menor que

1,15 para as unidades geotécnicas da área de expansão do município de Rio Fortuna. O estudo geotécnico com os procedimentos detalhados encontra-se no Anexo 2 desse relatório.

Tabela 3. Fator de Segurança para as diferentes declividades consideradas para os solos associados às litologias presentes na área de estudo.

Unidade Geotécnica	Coordenadas	FS < 1,15
PVg Substrato de granito	686281/ 6886092	> 27°
Cde Substrato deposito de encosta	686664/ 6886129	> 28°
Cdb Substrato de diabásio	684303/ 6886523	> 27°

4. CARTAS DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS E INUNDAÇÕES

A elaboração de cartas de suscetibilidade a deslizamentos e inundações possibilitou a delimitação de zonas homogêneas do terreno quanto à probabilidade de atuação dos processos gravitacionais de massa e inundações, definindo zonas de alta, média e baixa suscetibilidade à ocorrência desses processos.

4.1. ELABORAÇÃO DA CARTA DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS

A elaboração da carta de suscetibilidade a deslizamentos está fundamentada nos seguintes procedimentos:

- a) Levantamento de dados geológicos secundários e mapeamento geológico-geomorfológico de campo;
- b) Análise das declividades das encostas, a partir dos dados de Modelo Digital do Terreno (MDT), fornecidos pela SDS (2011);
- c) Análises geotécnicas das formações superficiais de alteração das encostas com base na realização de ensaios geomecânicos para cada litologia e variedade de solo encontrada nas áreas de intervenção. Com base no cálculo do Fator de Segurança, as encostas com FS acima de 1,5 e abaixo de 1,15 são consideradas, no âmbito do projeto, como respectivamente de baixo e alto grau de suscetibilidade aos deslizamentos. As encostas que apresentaram FS entre 1,15 e 1,5 são classificadas como de média suscetibilidade. Também foram avaliadas as condições geotécnicas das planícies sedimentares quaternárias, com a identificação, sobretudo, da presença de solos compressíveis.

A análise integrada dos dados obtidos nos procedimentos relacionados possibilitou a delimitação de zonas de alta, média e baixa suscetibilidade ao desenvolvimento de movimentos gravitacionais de massa nas áreas do perímetro urbano dos municípios com potencial para a expansão urbana.

4.1.1. Carta de suscetibilidade a deslizamentos para o município de Rio Fortuna

A carta de suscetibilidade a deslizamentos de Rio Fortuna abrange áreas não urbanizadas e está classificada em: alta, média e baixa suscetibilidade, conforme representada na Figura 25.

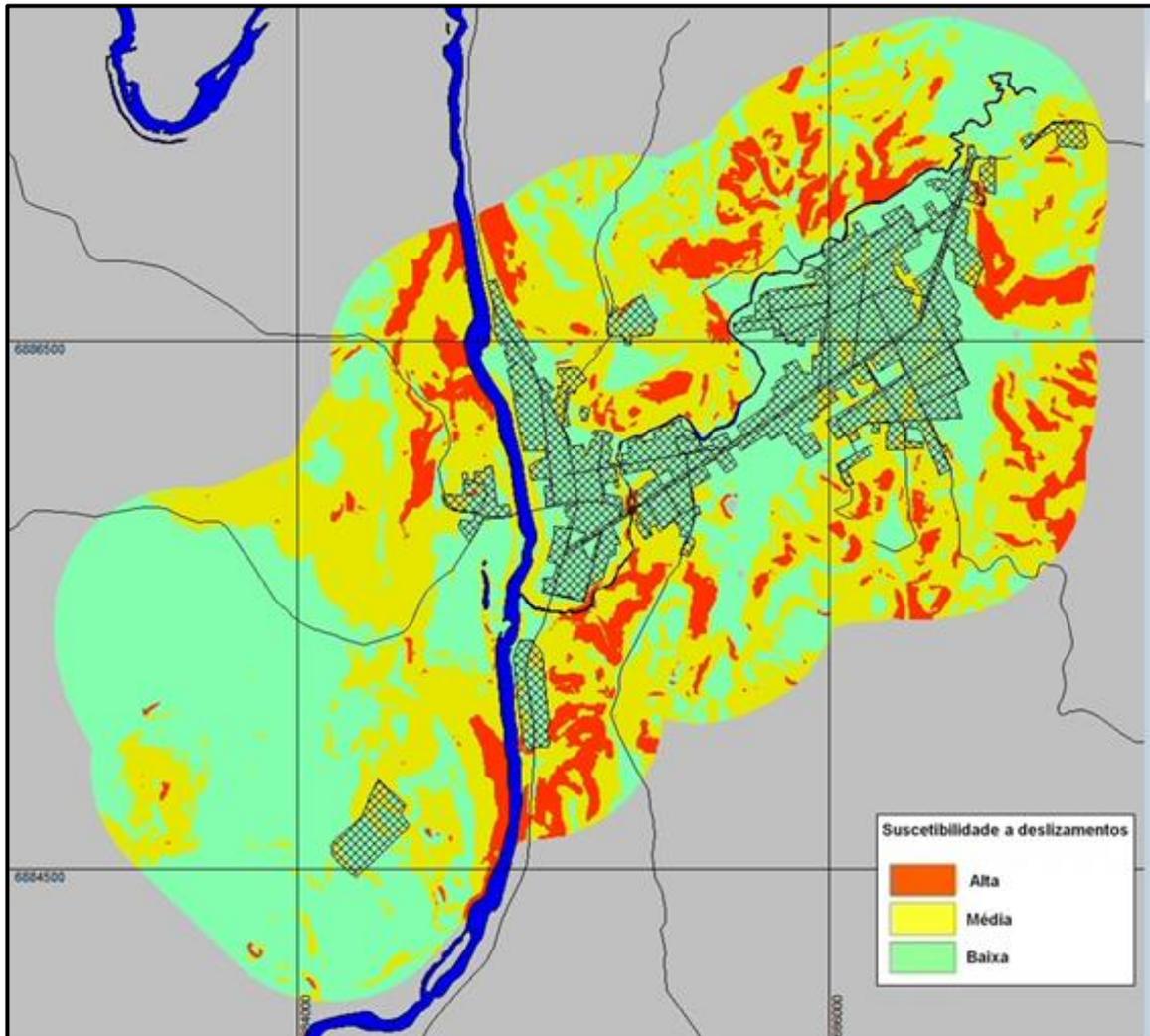


Figura 25. Carta de suscetibilidade a deslizamentos nos setores não urbanizados do município de Rio Fortuna.

Salienta-se que na carta de suscetibilidade a deslizamentos não estão contempladas as superfícies suscetíveis de serem atingidas por dois processos geodinâmicos ligados direta ou indiretamente aos deslizamentos.

O primeiro refere-se à zona de atingimento dos deslizamentos, que inclui áreas planas situadas a jusante do eixo do movimento gravitacional de massa, na base das

encostas, onde o material deslizado poderá ser depositado. Assim devem ser consideradas nos planos diretores restrições para a ocupação urbana permanente dessas áreas. Para efeito de planejamento e uso urbano do solo, essas áreas devem ser submetidas à realização de estudos pontuais em escala de detalhe. A escala de 1:10.000, adotada no projeto, é considerada inadequada para representação de processos localizados. Por outro lado, a extensão da área de atingimento para um setor afetado por deslizamento pode variar de acordo com a tipologia e magnitude do evento, sendo os deslizamentos rotacionais ou planares os mais frequentes, dependendo do contexto geológico e geomorfológico local.

O segundo processo geodinâmico não contemplado são os fluxos de detritos, que ocorrem frequentemente durante as enxurradas em alguns vales, especialmente em setores montanhosos, de maior declividade das encostas. Esses eventos ocasionam muita destruição e são imprevisíveis. Em decorrência da escala de mapeamento adotada, os vales mais suscetíveis de serem atingidos por esse tipo de processo também não estão representados na carta apresentada na Figura 25.

A Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações publicada pelo CPRM/IPT na escala de 1:25.000 (CPRM/IPT, 2014) fornece algumas informações sobre a localização desses vales no município de Rio Fortuna e, dessa forma, recomenda-se consultá-la a título indicativo preliminar, não substituindo os estudos de detalhes.

Para o mapeamento de detalhe de fluxos de detritos e áreas de atingimento relacionados a eventos provocados por enxurradas imprevisíveis em tempo e espaço, a escala adequada seria a utilizada na elaboração dos Planos Municipais de Redução de Riscos, ou seja, 1:2.000 ou de maior detalhe, de acordo com os casos analisados.

4.2. ELABORAÇÃO DA CARTA DE SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÕES

A carta de suscetibilidade à inundação é elaborada por meio de uma combinação de dados de séries históricas de cota e vazão, que permitem a determinação do tempo de retorno de eventos de inundação de diferentes magnitudes, da classificação do MDT com o modelo HAND (RENNÓ *et al*, 2008; NOBRE *et al*, 2011), utilizado na espacialização das áreas suscetíveis a inundações. Os dados obtidos foram

complementados com o uso de *soft data*, como informações coletadas em entrevistas, visita a campo, experiência da equipe e também com o cruzamento com informações de mapeamento geológico-geomorfológico de planícies aluviais. A Figura 26 apresenta uma visão geral da metodologia utilizada no estudo.

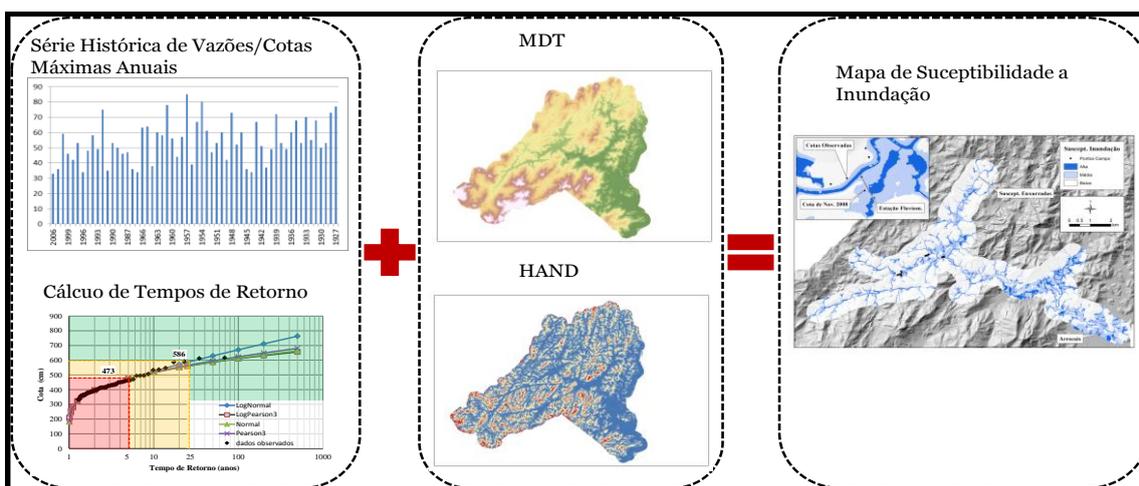


Figura 26. Esquema metodológico para mapeamento das áreas susceptíveis a inundações.

4.2.1. Análise Fluviométrica

O presente trabalho aplicou 4 distribuições de probabilidades diferentes: Normal, Log-Normal, Pearson 3 e Log-Pearson 3 para a análise fluviométrica. O cálculo destas distribuições está implementado no software HEC-SSP, adotado no presente trabalho. O HEC-SSP possui como base teórica o Bulletin 17b, documento sobre análise de frequência de vazão (USACE, 2010).

4.2.2. Height Above Nearest Drainage – HAND

As inundações são processos naturais que atingem, geralmente, as áreas próximas aos rios. Pode-se assumir quanto mais próximo de um rio for um determinado local, maior será a probabilidade de este local ser inundado. Contudo, não apenas o principio da vizinhança deve ser levado em consideração, mas também a variação altimétrica entre o canal e as suas áreas adjacentes. Estimar áreas propensas à inundação por meio de atributos topográficos da paisagem surge como uma alternativa para a falta ou inconsistência de dados hidrológicos.

Neste contexto, para a elaboração do mapeamento das áreas susceptíveis a inundação foi utilizado o modelo *Height Above Nearest Drainage* – HAND (RENNÓ et al, 2008; NOBRE et al, 2011). O modelo HAND reclassifica o Modelo Digital de Terreno (MDT) com base na diferença entre a altitude do terreno e a altitude da rede de drenagem mais próxima. Assim como qualquer outra característica hidrogeomorfológica obtida pela topografia (MOORE et al., 1991), os resultados do HAND estão condicionados pela qualidade e resolução do MDT (GHARARI et al., 2011).

Dentro do modelo HAND, a primeira etapa é a correção hidrológica do MDT, garantindo a propagação do fluxo desde as nascentes até a exutória. Para isto, são identificados os locais onde o fluxo está obstruído (*sinks*). Em sequencia, as cotas são alteradas desde a exutória mais próxima até a obstrução (Figura 27). Posteriormente, após a determinação da área de acumulação, um limiar é estabelecido para que a rede de drenagem seja gerada (Figura 28). Este limiar está relacionado diretamente com a área mínima necessária para a geração do escoamento e o início de um canal (Montgomery e Dietrich, 1988). Quanto menor a área, maior a densidade de drenagem e maior a quantidade de canais.

Para o presente trabalho, foi utilizado um MDT cedido pela SDS com resolução de 1m (SDS, 2011), recortado conforme o limite de cada município. Dessa maneira, em cada município foi escolhida uma área de contribuição que englobasse também os córregos canalizados com pequena área de contribuição, responsáveis geralmente pelos alagamentos.

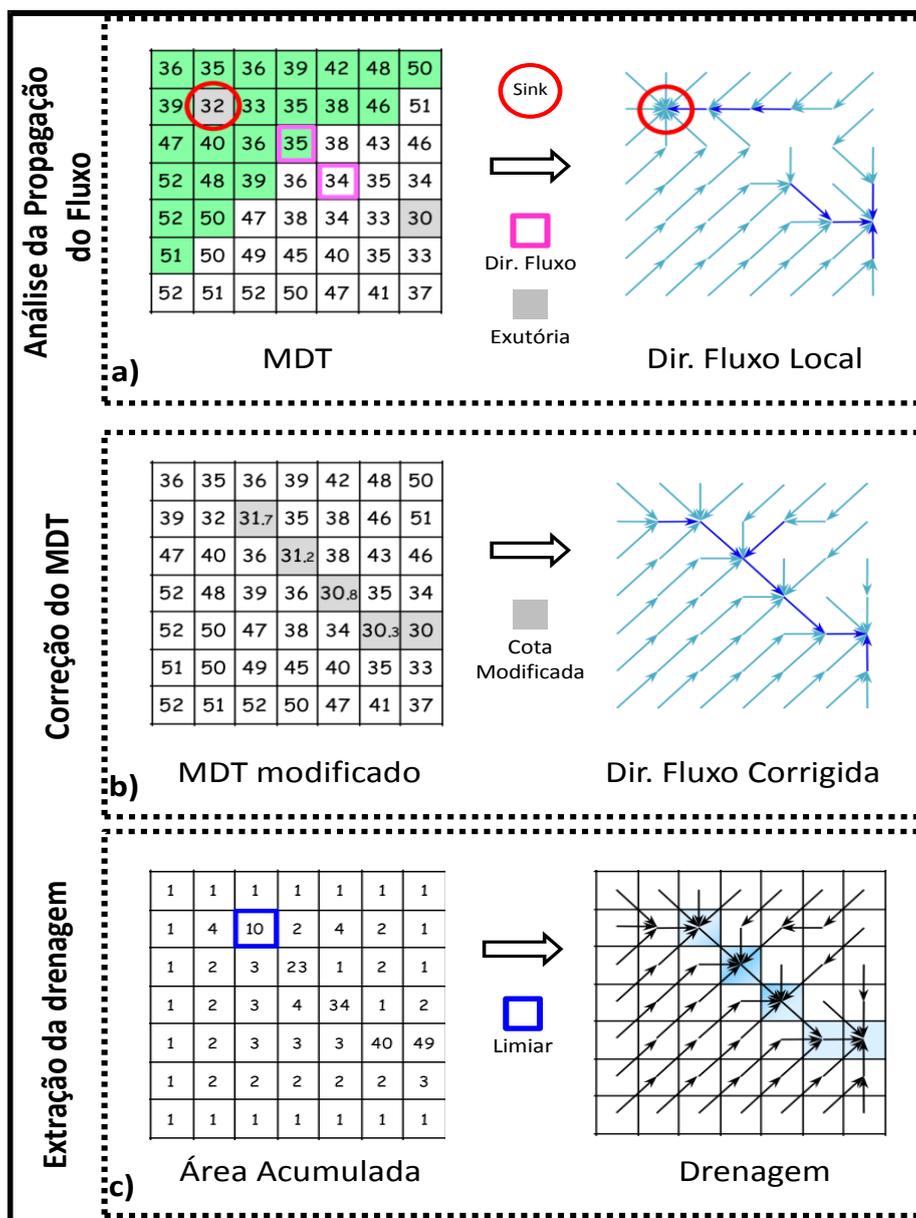


Figura 27. Etapas para a correção e geração de um MDT hidrológicamente consistente. Fonte: Nobre et al, 2011.

A segunda etapa do modelo HAND é a normalização da altimetria com base nas cotas da drenagem. Assim, o MDT é reclassificado com base na diferença entre a cota do canal e as cotas da planície de inundação e das encostas (Figura 28). Quanto menor a diferença, maior a suscetibilidade de um local ser inundado.

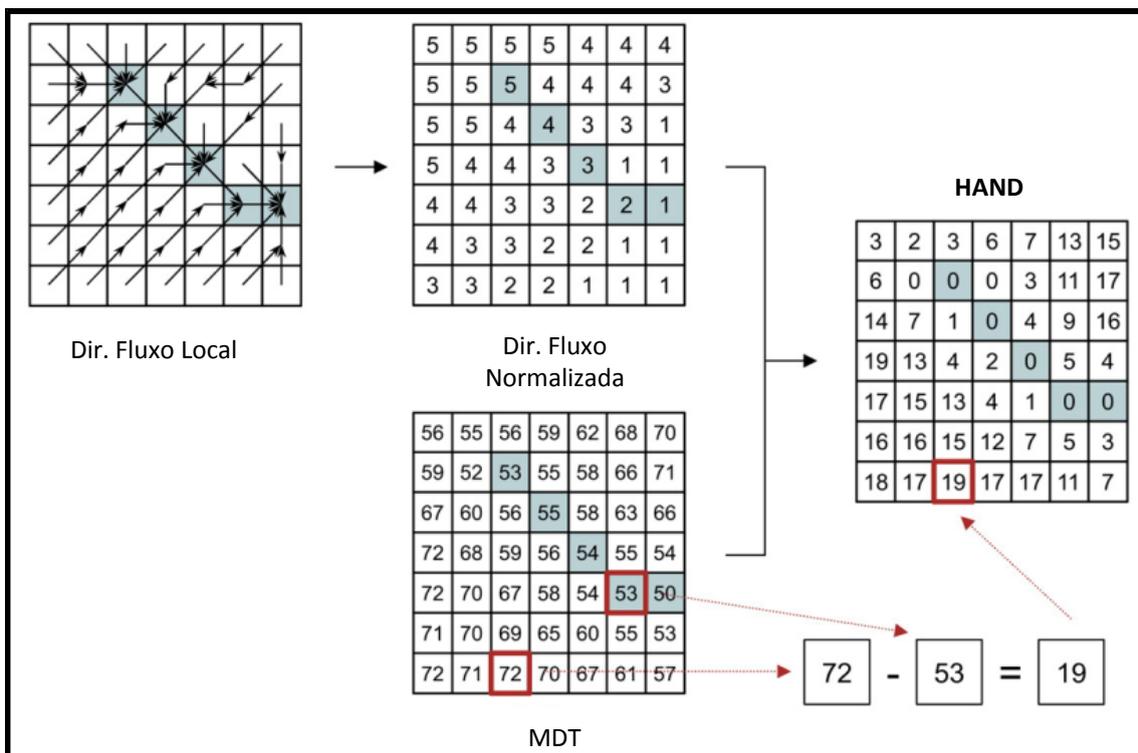


Figura 28. Procedimento para o cálculo do HAND. Fonte: Rennó et al, 2008.

4.2.3. Reclassificação do HAND

Para o fatiamento do HAND em classes de suscetibilidade (Alta, Média e Baixa) foram coletados, em campo, pontos das áreas inundadas em diferentes eventos. Além disso, foram analisadas as estações fluviométricas situadas no perímetro do município, correlacionando os valores do HAND com as cotas e seus respectivos tempos de retorno, calculadas no HEC-SSP.

A Figura 29 apresenta um exemplo do resultado da reclassificação das cotas com base no tempo de retorno. Foi adotado um intervalo de 25 anos como intervalo de média suscetibilidade. As cotas acima de 25 anos foram classificadas como baixa suscetibilidade e as cotas abaixo de 5 anos foram classificadas com alta suscetibilidade. Ressalta-se que as estações fluviométricas estão instaladas ao longo dos principais rios da bacia. Dessa maneira, a classificação dos afluentes possui incertezas devido à falta de monitoramento nos mesmos.

Para o estabelecimento da classe de mais alta suscetibilidade no modelo HAND foram utilizados os pontos de inundação coletados em campo. Para isso, foram feitas

visitas as prefeituras e aos locais frequentemente afetados para cada município. Assim, foi adotada uma correlação espacial entre os pontos observados em campo e as classes de alta e média suscetibilidade, tomando com base a severidade dos eventos.

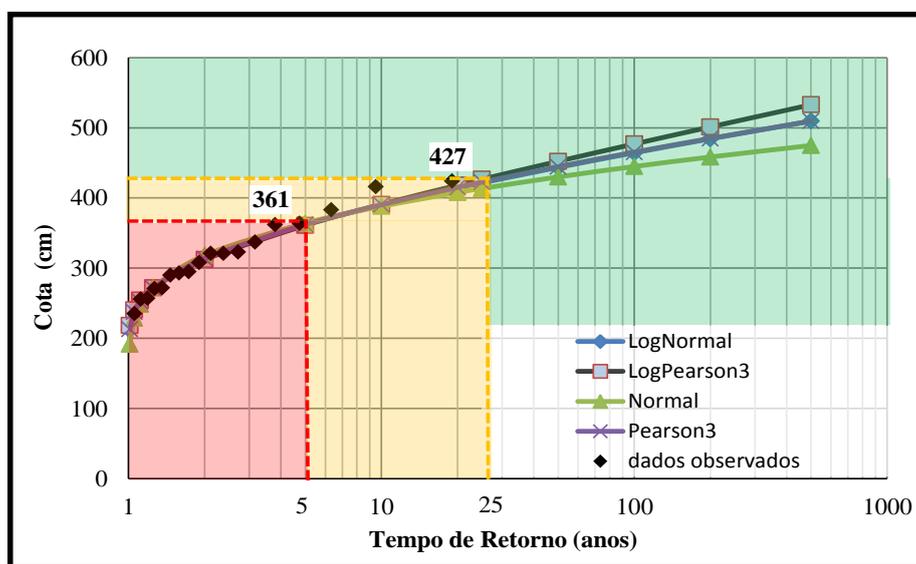


Figura 29. Exemplo de classificação das cotas com base no tempo de retorno.

4.2.4. Resultados para o município de Rio Fortuna

O município de Rio Fortuna está situado ao pé da Serra Geral, no Vale do Rio Braço do Norte, cujo afluente principal que corta o seu território pela margem esquerda é o rio Fortuna.

O rio Fortuna e alguns afluentes cortam a zona urbana municipal e durante eventos de média a grande magnitude costumam inundar a planície em alguns pontos específicos.

Toda a drenagem pluvial do bairro Centro é direcionada para uma tubulação na avenida central, que direciona às águas do escoamento para desembocarem em dois pontos distintos no rio Fortuna.

Algumas residências situadas próximas às margens do rio Fortuna foram afetadas por inundações de grandes eventos como o de 1997, quando a altura das águas atingiu 1,5 m de lâmina d'água dentro da casa. Em eventos mais frequentes, como os ocorridos ao longo do ano de 2011 e outubro de 2015, a água alcançou o quintal de imóveis e a área de pastagem adjacente (Figura 30).



Figura 30. Residências situadas próximas às margens do rio Fortuna afetadas por inundações recorrentes, sobretudo pelo evento de 1997 em que a altura da água alcançou 1,5 metros. Foto: Débora Yumi de Oliveira, 29/02/2016.

Dentre os eventos de inundação mais extremos, o episódio mais severo considerado pela Defesa Civil municipal foi o de janeiro de 1997, em que ocorreu a inundação do rio Braço do Norte e afluentes e afetou em grande parte a população do município, sobretudo da área urbana. Além do elevado índice pluviométrico, os danos foram agravados pelo rompimento de um açude e destruição de pontes.

Quanto ao rio Braço do Norte, apresenta uma faixa de preservação significativa e a vazão em períodos chuvosos aumenta, sem que haja transbordamento da calha. Segundo informações de moradores de residências no entorno, suas edificações não são atingidas, nem mesmo no evento considerado de grande magnitude como o de 1997 (Figura 31).



Figura 31. Ponte sobre o rio Braço do Norte, ponto sem registros de transbordamento da calha. Foto: Débora Yumi de Oliveira, 29/02/2016.

Rio Fortuna não dispõe de dados hidrológicos históricos, devido à ausência de uma estação fluviométrica com série de registros longa o suficiente que permita análises estatísticas para o cálculo do tempo de retorno dos eventos. Dessa maneira, as classes de suscetibilidade foram determinadas por meio de coleta de dados em campo e da análise geomorfológica.

Assim, nos limites do perímetro urbano foram identificados em campo pontos referentes às áreas inundadas em diferentes eventos.

A classificação da suscetibilidade à inundação no município de Rio Fortuna está representada na Figura 32.

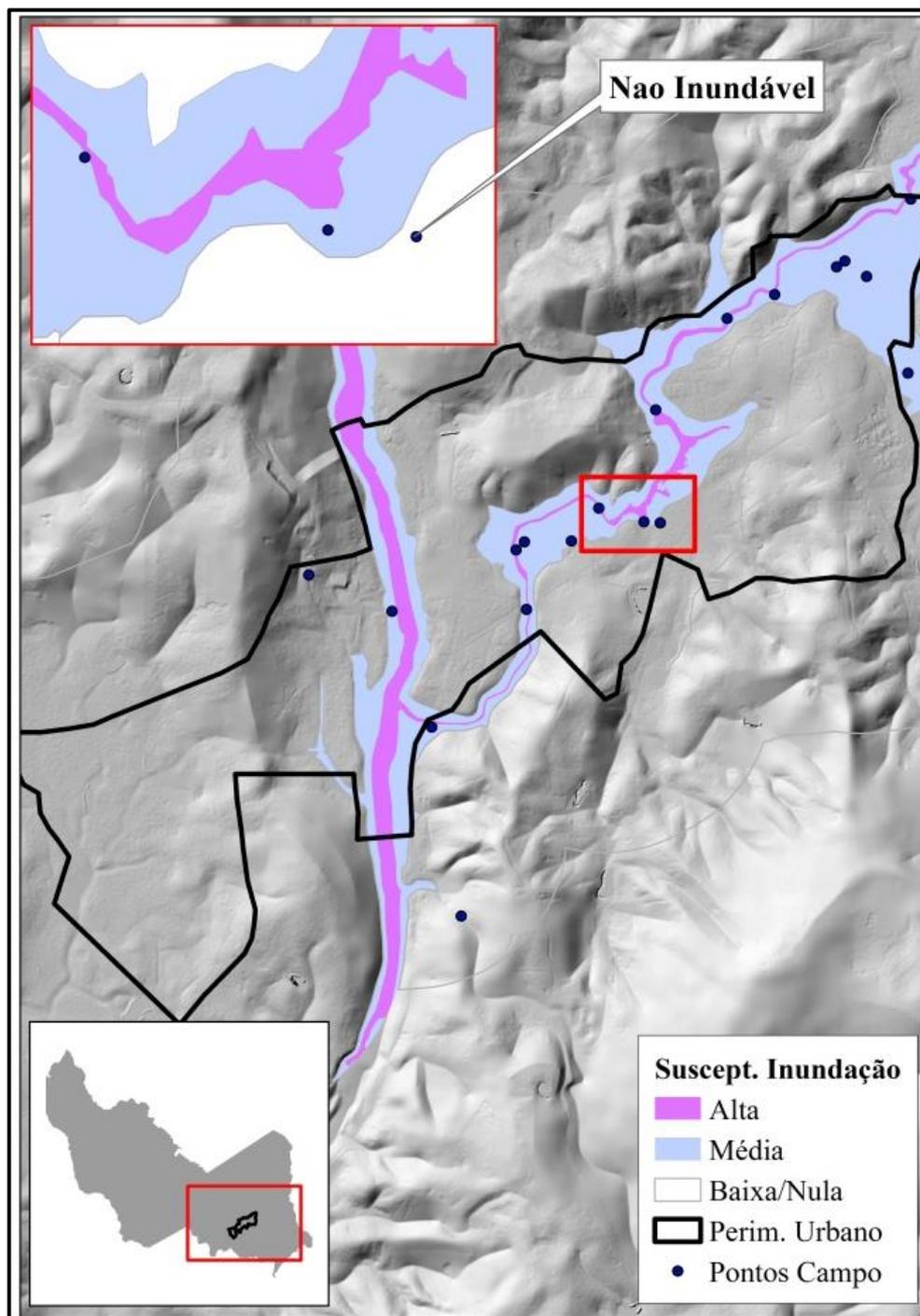


Figura 32. Carta de susceptibilidade à inundação no município de Rio Fortuna.

5. CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO

A carta geotécnica de aptidão à urbanização elaborada resultou principalmente da síntese das cartas de suscetibilidade referentes à probabilidade de ocorrência de deslizamentos nas encostas e de inundações nos vales dos municípios alvos do projeto.

A carta geotécnica de aptidão à urbanização, na escala de 1:10.000, é desenvolvida inicialmente com base no geoprocessamento dos dados preliminares de suscetibilidade, gerados a partir do cruzamento dos diversos mapas temáticos ligados aos processos geodinâmicos. Posteriormente foram eliminados os polígonos de aptidão menores que 200m², procedendo-se ao agrupamento desses polígonos com a classe de aptidão do entorno.

Em seguida foi realizada uma reinterpretação dos resultados a partir dos levantamentos de campo, do registro de cicatrizes, da ocorrência de depósitos coluviais e de possíveis áreas de atingimento, com nova reclassificação da carta geotécnica de aptidão à urbanização.

A reinterpretação tem como base os dados levantados no campo pela equipe de geologia e geomorfologia e a revisão por fotointerpretação das ortofotografias utilizadas. A título de exemplo, nos setores de encostas, foram eliminadas as irregularidades geradas pela utilização dos MDT's de alta precisão. Os topos de morros, quando representados por zonas mais planas, mas isolados em meio a setor es de alta declividade e baixa aptidão à urbanização, foram reagrupados às áreas vizinhas, pois a criação de infraestrutura de acesso a esses locais, atravessando setores de alta suscetibilidade, é passível de desestabilizar toda a encosta.

O cruzamento das cartas de suscetibilidade permitiu o estabelecimento de zonas homogêneas em relação aos processos físicos analisados e à aptidão urbana na área de estudo. As zonas ou unidades territoriais com alta suscetibilidade de ocorrência de deslizamentos e inundações são consideradas inadequadas para a ocupação urbana permanente; as zonas de média suscetibilidade traduzem-se em zonas de ocupação permanente condicionada à implantação de cuidados especiais, com destaque para a realização de estudos geotécnicos em escala de projeto, enquanto as zonas de baixa suscetibilidade aos processos considerados são definidas como adequadas à ocupação urbana permanente.

Os resultados apresentados na carta geotécnica de aptidão à urbanização devem ser complementados por dados referentes às Áreas de Preservação Permanente (APP) no âmbito da legislação municipal, estadual ou federal, visto que indicam restrições a ocupação, considerando condicionantes físicos e ambientais. Esses dados foram integrados aos resultados da carta geotécnica de aptidão à urbanização, mas são apresentados separadamente.

5.1. CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO NO MUNICÍPIO DE RIO FORTUNA

A Figura 33 apresenta a carta de aptidão geotécnica à urbanização frente aos desastres naturais, elaborada para o Município de Rio Fortuna. Os resultados obtidos mostram nas áreas não ocupadas do perímetro urbano a ocorrência três classes de aptidão à urbanização:

1. Zona de baixa aptidão à urbanização (em vermelho);
2. Zona de média aptidão à urbanização (em amarelo);
3. Zona de alta aptidão à urbanização (em verde).

As zonas classificadas como de média aptidão à urbanização apresentam dois níveis de aptidão, representadas na carta por nuances de amarelo: os setores relacionados à suscetibilidade a deslizamentos naturais ou induzidos e os setores sujeitos a inundações com tempo de retorno entre 5 a 25 anos, compreendendo setores suscetíveis a adensamento de solos e alagamentos locais.

As áreas já urbanizadas do perímetro urbano são desconsideradas no estudo e estão representadas pela cor cinza na carta geotécnica final de aptidão à urbanização.

A carta geotécnica de aptidão à urbanização para o município de Rio Fortuna, na escala de 1:10.000, é disponibilizada em meio digital, através de ambiente *WebGIS* pelo aplicativo Mapgeo desenvolvido para esse fim.

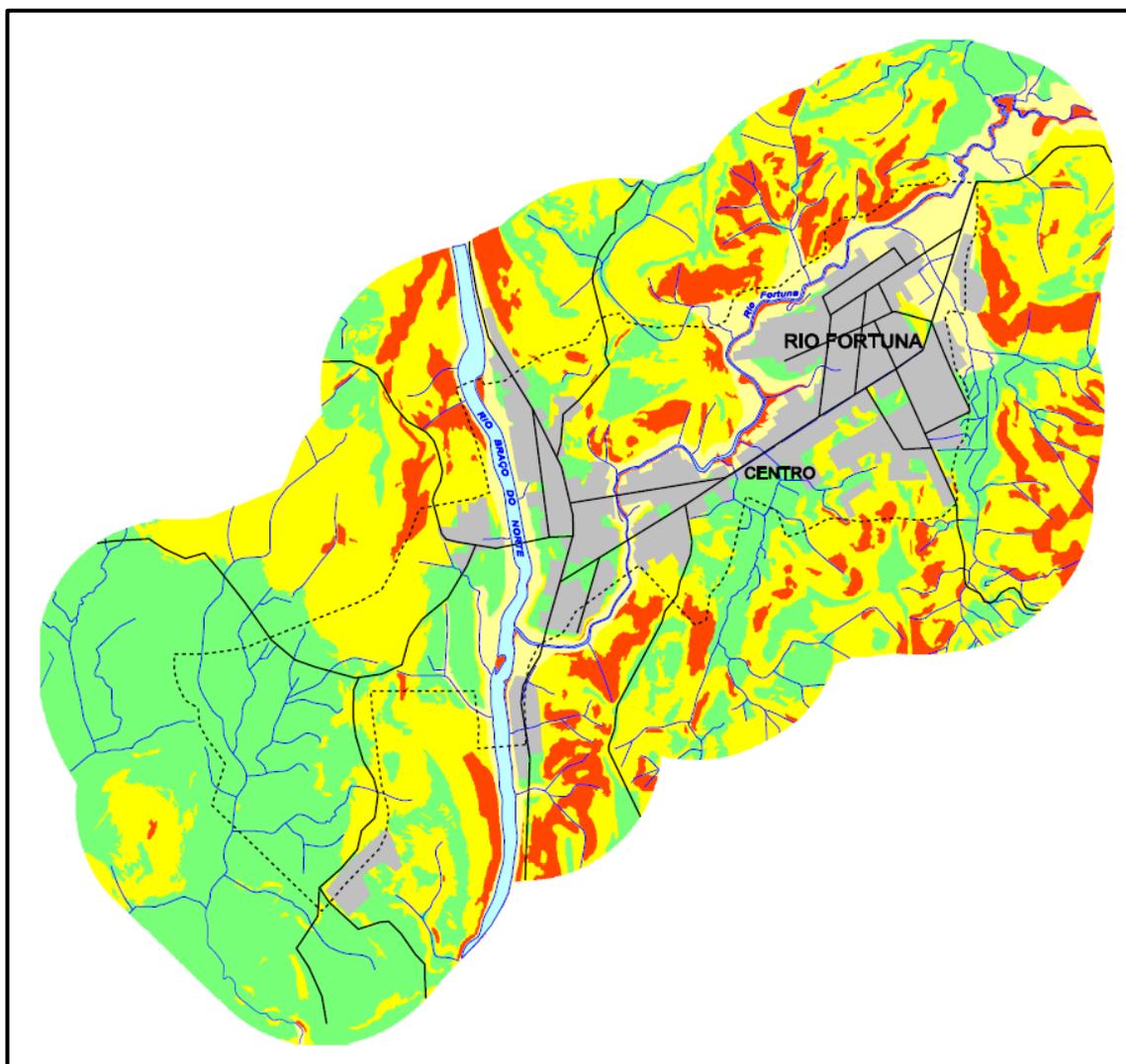


Figura 33. Imagem da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização Frente aos Desastres Naturais do setor não urbanizado do município de Rio Fortuna.

Os resultados da cartografia geotécnica, apresentados na Figura 33, indicam o predomínio de setores com alta aptidão à urbanização nas áreas não ocupadas do setor estudado (buffer) do município, relacionados principalmente à suscetibilidade a setores de baixa encosta.

A Figura 34 apresenta a área referente a cada classe de aptidão geotécnica identificada no presente estudo nos setores do perímetro urbano de Rio Fortuna com potencial de expansão urbana. De uma área total de 1,93 mapeada, apenas 0,19 Km² (9,8%) apresentaram baixa aptidão à urbanização frente aos desastres naturais, sendo suscetíveis a deslizamentos ou a inundações, seguidos de 0,76 Km² (48%) que foram

classificadas como de média aptidão, com 0,57 Km² relativos aos movimentos de massas e 0,36 Km² às inundações, enquanto 0,81 Km² (42,2%) foram classificadas como de alta aptidão à urbanização, abrangendo predominantemente áreas de planície.

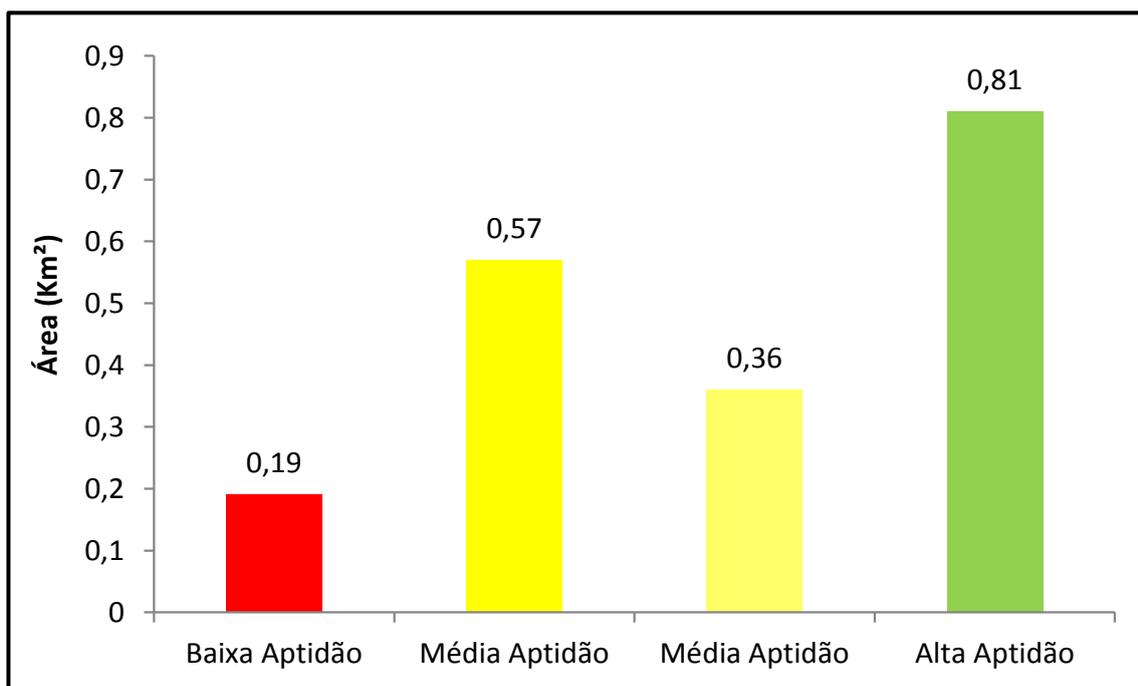


Figura 34. Quantitativo de áreas das classes de aptidão no município de Rio Fortuna.

A Carta Geotécnica de Aptidão é acompanhada de uma legenda que apresenta sinteticamente as unidades geotécnicas analisadas e os processos geodinâmicos que podem ocorrer nas diferentes zonas de aptidão identificadas (Quadro 2).

Conforme indicado na legenda, as zonas de encostas e de planície com baixa aptidão à urbanização apresentam, respectivamente, maior suscetibilidade natural aos movimentos gravitacionais de massa e às inundações e não devem ser ocupadas. As zonas identificadas com média aptidão geotécnica apresentam um contexto mais restritivo para uso e ocupação do solo urbano, devendo ser observadas orientações específicas para esse fim. Para as zonas com alta aptidão geotécnica à urbanização, apesar de menos restritivas, os projetos de urbanização devem seguir diretrizes apropriadas de intervenção, de forma a não alterar o grau de suscetibilidade do meio físico aos processos naturais analisados, evitando o surgimento de novas áreas de risco.

Quadro 2. Legenda da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização dos setores não urbanizados do município de Rio Fortuna.

L E G E N D A			
CLASSE	CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES	PROCESSOS GEODINÂMICOS	INDICAÇÕES PARA PROJETOS DE PARCELAMENTO DO SOLO E EDIFICAÇÕES *
BAIXA APTIDÃO À URBANIZAÇÃO	<p>Áreas de relevo forte com encostas apresentando alteritos derivados do substrato rochoso formado por granito e diabásio, com declividades superiores a 26°- 27°.</p> <p>Áreas de planície aluvial.</p> <p>Áreas de Preservação Permanente federal (faixas marginais dos cursos de água) e/ou municipal.</p>	<p>Deslizamentos naturais e/ou induzidos nas encostas.</p> <p>Alta suscetibilidade a inundações, com tempo de retorno inferior a 5 anos. Solapamento de margens de canais fluviais durante chuvas terrençiais (temporais de verão).</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Recomenda-se a não aprovação de lotes para ocupação permanente nestas áreas.
MÉDIA APTIDÃO À URBANIZAÇÃO	<p>Áreas de relevo moderado com encostas apresentando alteritos derivados do substrato rochoso formado por granito e diabásio, com declividades entre 10° e 26°.</p>	<p>Média suscetibilidade a deslizamentos naturais e/ou induzidos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Expedição do alvará de construção condicionada à apresentação de projeto de estabilidade de taludes de edificação projetada, apoiado em sondagens de simples reconhecimento do subsolo, ensaios de cisalhamento direto e em análises de estabilidade, sempre que houver a previsão de cortes ou aterros com altura superior a 1,5 metros.
	<p>Planícies aluviais atuais, paralelas aos rios Braço do Norte e Fortuna.</p>	<p>Média e baixa suscetibilidade a inundações, com tempo de retorno entre 5 a 25 anos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● A aprovação de lotes para ocupação permanente exige a apresentação de estudos hidrológicos demonstrando que a cota de implantação das residências encontra-se acima da cota de inundações. ● A ocupação deve levar em consideração o conhecimento histórico da região, pois eventos de altíssima magnitude geralmente extrapolam a capacidade de medição fluviométrica. Assim, o registro histórico embasará o conhecimento do alcance de eventos muito extremos e a ocupação dessas áreas. ● Fora da planície de inundações, os locais próximos a canais de alta declividade e com presença de matacões, blocos e sedimentos grosseiros devem ser evitados, pois são propensos a ocorrência de enxurradas.
ALTA APTIDÃO À URBANIZAÇÃO	<p>Setores de planícies e terraços aluviais com declividades inferiores a 10°.</p>	<p>Ausência ou possibilidades remotas de deslizamentos e de inundações.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Ressalta-se que a obra está em escala de projeto e o mapeamento geotécnico, devido a escala em que o mesmo é elaborado, pode não conseguir abarcar todas as características do meio físico para subsidiar as obras que serão realizadas. Portanto, é sugerida uma maior quantidade de investigações geológico-geotécnicas.

(*) Obrigatório consultar o mapa das Áreas de Preservação Permanentes (restrições legais).

São também apresentadas na legenda da carta geotécnica, diretrizes específicas que possam orientar o uso e ocupação solo, fornecendo subsídios gerais para a legislação municipal e estabelecimento de políticas preventivas de proteção e defesa civil. Além disso, fornece indicações de áreas que precisam de detalhamento para avaliação geotécnica voltada à aptidão urbana; de restrições quanto ao parcelamento do solo e instalação de novos loteamentos; da necessidade de obras de infraestrutura viária, saneamento e drenagem, da identificação de riscos potenciais a desastres naturais, conforme preconizado por Diniz *et al.* (2012).

Como indicado no Quadro 2, as zonas de média aptidão à urbanização no município de rio Fortuna são aquelas em que a ocupação urbana do solo está condicionada à realização de estudos de aptidão geotécnica em escala de detalhe e à implantação de medidas estruturais e/ou não estruturais para prevenção de riscos e de desastres naturais.

Em relação à suscetibilidade aos processos gravitacionais de massa nas encostas, salienta-se a importância de considerar, para fins parcelamento urbano do solo e instalação de infraestrutura urbana, o padrão de descontinuidades do substrato rochoso, tendo em vista que zonas ou faixas marcadas por falhas e fraturamentos podem favorecer a ocorrência desse tipo de processo na área trabalhada, sobretudo em condições de alteração topográfica e hidrológica das encostas. Nesses casos recomenda-se a execução de estudos geofísicos de detalhe para avaliar, localmente, os possíveis impactos desses lineamentos na desestabilização das encostas. Por sua vez, a realização de estudos na escala de detalhe permite avaliar localmente a espessura do manto de alteração e a diferenciação nas encostas entre solos residuais e coluviais, que influenciam a estabilidade dos taludes e a magnitude de possíveis movimentos de massa.

6. DISPONIBILIZAÇÃO DAS CARTAS GEOTÉCNICAS DE APTIDÃO URBANA

6.1. IMPLANTAÇÃO DE BANCO DE DADOS GEORREFERENCIADOS

Os dados gerados para a elaboração das cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais permitiram a implantação de um banco de dados georreferenciados, desenvolvido com a utilização de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) em ambiente *Desktop*, sendo algumas camadas inseridas em banco de dados geográficos e disponibilizadas em ambiente *Web*. Este sistema compreende um conjunto de funções que possibilita automatizar processos e disponibiliza aos profissionais uma capacidade avançada de análise de dados georreferenciados. Realiza a interação entre dados descritivos (alfanuméricos) e dados espaciais (geográficos), e apresenta as seguintes características que podem ser aplicadas aos dados: armazenamento, recuperação, edição, análise e visualização de dados.

Os mapas temáticos produzidos no desenvolvimento do trabalho foram armazenados em forma de camadas no sistema, com os atributos associados aos objetos espaciais ou toponímias que complementam a comunicação de determinados mapas.

Os arquivos dos mapas que compõem a base de dados do sistema de informação geográfica foram organizados em diretórios e estão vinculados ao projeto por meio da formatação de um projeto que possibilita a visualização e a interação com as diferentes camadas de dados, mediante o emprego de ferramentas disponíveis no software utilizado.

Os mapas temáticos produzidos e os de referência utilizados na elaboração do projeto foram analisados visando à implementação do sistema de informação geográfica. Esta análise foi necessária devido aos diferentes formatos de arquivos trabalhados, a necessidade de adequação de tabelas de dados não espaciais e a edição de dados, para possibilitar a visualização neste novo ambiente.

O Quadro 3 apresenta as camadas que compõem a base de dados do SIG, onde são definidos: nomes, primitiva geográfica, formato e extensão.

Quadro 3. Descrição das camadas que compõem a base de dados

Nome da Camada	Primitiva Geográfica	Formato	Extensão
Declividades	Matriz	Raster	TIF
Hipsometria	Matriz	Raster	TIF
Curvas de Nível	Linha	Vetorial	SHP
Toponímia	Texto	Vetorial	SHP
Limite do Projeto	Área	Vetorial	SHP
Hidrografia	Linha	Vetorial	SHP
Massas de Água	Polígono	Vetorial	SHP
Hidrografia	Texto	Vetorial	SHP
APL – Plano Diretor	Polígono	Vetorial	SHP
APP – Plano Diretor	Polígono	Vetorial	SHP
APP Topo de Morro	Polígono	Vetorial	SHP
Área Urbanizada	Polígono	Vetorial	SHP
Sistema Viário	Linha	Vetorial	SHP
Áreas Inundáveis	Polígono	Vetorial	SHP

As camadas foram organizadas por temas que representavam, sendo definidos os seguintes grupos de camadas, conforme ilustra o Quadro 4:

Quadro 4. Grupos de camadas do SIG

Tema	Camadas
Geotécnico	Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização
Administrativo	Toponímia
	Limites Projeto
Ocupação e Uso do Solo	Mancha Urbana
	Sistema Viário
	APL – PD
	APP – PD
	APP Topo de Morro
Hidrografia	Hidrografia – Texto
	Hidrografia - Linhas
	Massas de Água
	Áreas Inundáveis
Altimetria	Curvas de Nível
	Declividade

6.2. ACESSO ÀS CARTAS GEOTÉCNICAS DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO NA WEB

Para viabilizar um maior alcance das cartas geotécnicas de aptidão à urbanização e das informações geradas no projeto foi desenvolvido um aplicativo para

possibilitar o acesso público aos produtos cartográficos gerados por meio da internet no seguinte endereço: <http://mapgeo.cfh.ufsc.br/>.

Tal aplicativo foi concebido com plataforma tecnológica livre, e hospedado no Datacenter da Superintendência de Tecnologia de Informação e Comunicação (SETIC) da Universidade Federal de Santa Catarina.

A arquitetura da solução tecnológica é apresentada esquematicamente na Figura 35. Esta solução é fundamentada nos conceitos de escalabilidade e interoperabilidade, requisitos básicos para sistemas que devem rodar em ambiente corporativo, assegurando um maior número de usuários e a possibilidade de interação de diferentes extensões de arquivos.

Foi empregada uma arquitetura de três camadas: apresentação, negócios e dados, o que permite a independência entre os componentes e atinge os objetivos de eficiência, reutilização e facilidade de manutenção, desejadas.

A apresentação dos dados é realizada inicialmente em ambiente *Web*, mas com possibilidade de ajustes para exportar dados para aplicações *Desktop* ou importar novas camadas. As transações possíveis em cada uma das aplicações são apenas de consulta, mas outras poderão ser implementadas para possibilitar um maior nível de interação com os usuários. Essas transações são gerenciadas pelo servidor de aplicações, que definirá a segurança nas mesmas e a escalabilidade. Os dados são armazenados em banco de dados.

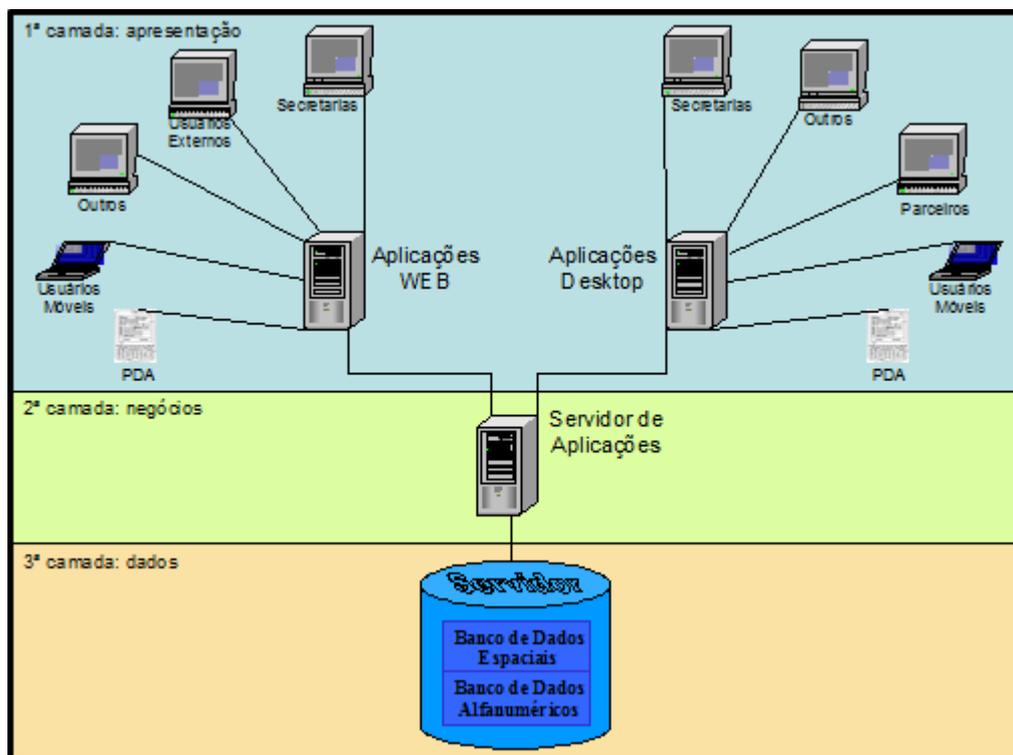


Figura 35. Esquema empregado para disponibilização de dados na WEB.

O Quadro 5, a seguir, relaciona as ferramentas utilizadas no desenvolvimento do sistema.

Quadro 5. Ferramentas empregadas na aplicação que disponibiliza dados do projeto na WEB

Ambiente de Desenvolvimento / Produção
Sistema Operacional Ubuntu 12.04
Banco de dados Postgresql versão 9.1
Banco de Dados Espacial: PostGis 2.0
Linguagem de Programação: Ruby 1.9.1
Framework: Rails 3.2.3
Servidor web: Apache 2
Servidor de Aplicação: Passenger 4.0.5
Servidor de Mapas: GeoServer 2.3.5

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As cartas geotécnicas de aptidão à urbanização constituem importante instrumento de apoio ao planejamento urbano, contribuindo para a gestão de riscos e de desastres naturais, através principalmente de medidas preventivas que possam reduzir a exposição da população aos eventos adversos, aumentando a resiliência das comunidades face aos desastres naturais.

Este relatório apresentou os resultados obtidos na elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais para os setores não urbanizados do perímetro urbano de Rio Fortuna, com potencial para expansão urbana do município.

A elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização para essas áreas, fundamentada em dados geológicos, geomorfológicos, geotécnicos e hidrológicos, permitiu a delimitação de zonas homogêneas de baixa, média e alta aptidão física para uso e ocupação do solo urbano, com base principalmente na suscetibilidade do terreno a deslizamentos e inundações.

Para as três zonas de aptidão à urbanização identificadas, são apresentadas diretrizes gerais para o uso e ocupação urbana, como recomendações de procedimentos e de restrições ao parcelamento do solo e implantação de edificações que devem, imperativamente, ser consideradas pelo poder público para o planejamento urbano.

Também devem ser consideradas para fins de planejamento urbano as restrições de uso e ocupação do solo previstas na legislação ambiental, com destaque para a delimitação das Áreas de Preservação Permanente. Estas áreas apresentam, frequentemente, características ambientais compatíveis com maior suscetibilidade do terreno aos processos físicos geradores de desastres naturais, traduzindo-se, conseqüentemente, em setores com baixa aptidão para ocupação urbana do solo.

Destaca-se que a escala de trabalho de 1:10.000, adotada no projeto para elaboração das cartas geotécnicas, constitui-se em escala inicial para fins de planejamento urbano, indicativa de tendências de aptidão urbana dos terrenos, não permitindo a representação espacial de processos geodinâmicos localizados, que

possam comprometer, frente aos desastres naturais, o parcelamento e uso do solo para fins de urbanização. Neste sentido, recomenda-se a realização de estudos pontuais, em escala de projeto, com destaque para estudos geotécnicos, que possam nortear a tomada de decisões pelos atores envolvidos no processo de urbanização, e auxiliá-los na definição de diretrizes específicas para a prevenção ou mitigação de riscos naturais. A realização de estudos na escala de projeto deve considerar também as possíveis alterações no grau de suscetibilidade do meio físico e de aptidão à urbanização face aos processos geodinâmicos analisados, em decorrência de intervenções sem critérios no terreno, para a prevenção de riscos induzidos.

Destaca-se também a importância de proceder ao monitoramento ambiental das áreas de expansão urbana do município, visando diagnosticar possíveis alterações locais no quadro de suscetibilidade ambiental e de aptidão urbana das áreas ainda não ocupadas, assim como a mitigação de riscos que possam ser gerados no processo de parcelamento e uso urbano do solo.

Finalmente, espera-se que as cartas geotécnicas de aptidão urbana geradas possam contribuir para o processo sustentável de expansão urbana de Rio Fortuna, voltado à prevenção de riscos e de desastres naturais nas áreas ainda não ocupadas do perímetro urbano, contribuindo para ampliar a resiliência do município frente aos eventos adversos naturais ou induzidos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11682: Estabilidade de taludes. Comitê Brasileiro de Construção Civil. Origem: Projeto 02:04.07-001/90. Rio de Janeiro, 1991. 39p.

AUMOND, Juarês et al. **Condições naturais que tornam o vale do Itajaí sujeito aos desastres**. In: FRANK, Beate. SEVEGNANI, Lúcia (Orgs.). **Desastre de 2008 no Vale do Itajaí: água, gente e política**. Blumenau: Agência de Água do Vale do Itajaí, 2009. p. 22-37.

BITENCOURT M.F.; BONGIOLO E.M.; PHILIPP R.P.; MORALES L.F.G.; RUBERT R.R.; MELO C.L.; LUFT JR. J.L. Estratigrafia do Batólito Florianópolis, Cinturão Dom Feliciano, na região de Garopaba-Paulo Lopes, SC. Revista Pesquisas em Geociências, UFRGS, Porto Alegre, 35(1), 109-136, 2008.

BRASIL. Lei Nº 12.608, de 10 de abril de 2012. **Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC, dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – CONPDEC**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm>.

BRASIL. Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. **Banco de dados e registros de desastres: Sistema Integrado de Informações sobre Desastres - S2ID**. Disponível em: <<http://s2id.integracao.gov.br/>>. Acesso em: jun. 2015.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. **Resposta ao desastre em Santa Catarina no ano de 2008: avaliação das áreas atingidas por movimentos de massa e dos danos em edificações durante o desastre**. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Florianópolis: CEPED, 2009. 444p.

BROGNOLI, F. F. Proposta de implantação de um parque inundável multiuso na bacia do rio Camboriú. Pós-graduação SENAI. Blumenau, 2010.

CIRAM/EPAGRI. **Rede de monitoramento hidrometeorológico para a Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú – SC**. CIRAM/EPAGRI: Florianópolis, 2011

CPRM. Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes. Rio Fortuna - SC. 2012

CPRM/IPT. Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações. Município de Rio Fortuna/SC na escala de 1:25.000. Ministério de Minas e Energia, 2014.

DINIZ, N. C.; FREITAS DE, C.G.L.; NETTO, A. L. C. ; MORETTI, R.; ZUQUIM, L.; SOUZA DE, N. M.; MACEDO DE, E.S.; ALHEIROS, M. 2012. **Cartografia geotécnica**. 37p.

GHARARI, S.; HRACHOWITZ, M.; FENICIA, F.; SAVENIJE, H. H. G. Hydrological landscape classification: investigating the performance of HAND based landscape classifications in a central European meso-scale catchment. **Hydrology and Earth System Sciences**, n. 15, p. 3275-3291, 2011.

HERRMANN, M. L. P. (Org). **Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina: período de 1980 a 2010**. 2. ed.atual. e rev. Florianópolis: IIHGSC/Cadernos Geográficos, 2014, 219 p.

JVS – JORNAL VALE SUL. **Museu virtual**. Disponível em:

<<http://www.jornalvalesul.com.br/museu-virtual.html>>. Acesso em: 24 ago. 2015.

KAUL, P. F. T.; FERNANDES, E.; SANTOS NETO, A. dos. Projeto Gerenciamento Costeiro GERCO - 3º Fase: Geologia. Florianópolis: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2002. 63p.

MONTEIRO, L. R.; KOBAYAMA, M. Proposta de metodologia de mapeamento de perigo de inundação. **REGA**, v. 10, n. 2, p. 13-25, 2013.

MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH, W. E. Where do channels begin. **Nature**. v. 336, n. 6196, p. 232-234, 1988.

MOORE, I.D., GRAYSON, R.B., LADSON, A.R. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. **Hydrological Processes**, v. 5, n. 1, p.3-30, 1991

NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; HODNETT, M. G.; RENNÓ, C. D.; RODRIGUES, G.; SILVEIRA, A.; WATERLOO, M.; SALESKA, S. Height Above the Nearest Drainage – a hydrologically relevant new terrain model. **Journal of Hydrology**, n. 404, p. 13-29, 2011.

POTTER, R. O. et al. **Solos do Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004.

PREFEITURA DE RIO FORTUNA. **Rio Fortuna em Estado de Emergência**. Santa Catarina, 26 jan. 2010. Disponível em: <<http://www.timbo.sc.gov.br/noticia/2852/rio-fortuna-em-estado-de-emergencia/>>. Acesso em 14 abr. 2016.

QUEIROZ, Antônio Diomário de. Prefácio. In: FRANK, Beate. SEVEGNANI, Lúcia. (org). **Desastre de 2008 no Vale do Itajaí: água, gente e política**. Blumenau, Agência de Água do Vale do Itajaí, 2009.

RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; SOARES, J. V.; HODNETT, M. G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM; mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 3469-3481, 2008



RIO FORTUNA. Lei Complementar Nº 023, de 30 de novembro de 2009. **Define o perímetro urbano do município de Rio Fortuna, e dá outras providências.** Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/sc/r/Rio_Fortuna/lei-complementar/2009/3/23/lei-complementar-n-23-2009-define-o-perimetro-urbano-do-municipio-de-Rio_Fortuna-e-da-outras-providencias>.

RIO FORTUNA. Lei Complementar Nº 049, de 01 de abril de 2014. **Altera o Plano Diretor de desenvolvimento sustentável do município de Rio Fortuna, e dá outras providências.** Disponível em: <<http://www.legislador.com.br/legisladorWEB.ASP?WCI=LeiTexto&ID=328&inEspecieLei=2&nrLei=49&aaLei=2014&dsVerbetes=>>>.

SANTA CATARINA. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. **Atlas do Estado de Santa Catarina.** Rio de Janeiro, 1986. 173 p.

SANTA CATARINA. Governo do Estado. Secretaria do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS). **Levantamento Aerofotogramétrico do Estado de Santa Catarina:** Rio Fortuna. 2011.

UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012:** volume Santa Catarina. Florianópolis: CEPED UFSC, 2012.

UNISDR. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. **TERMINOLOGY ON DRR.** 2017. Disponível em: <<https://www.unisdr.org/we/inform/terminology>>. Acesso em: abr. 2017.

USACE – US Army Corps of Engineers. **HES-SSP Statistical Software Package User's Manual,** USACE/HEC, 2010, 313p.

WIDNER, W; CAMOZZATO, E, TONIOLO, J.A, BINOTTO, R.B, IGLESIAS, C.M.F., LAUX. J.H. **Mapa geológico do estado de Santa Catarina.** Porto Alegre. CPRM. 2014. Escala 1:500.000. Programa Geologia do Brasil. Subprograma de Cartografia Geológica Regional.