

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ROBERTO FABRIS GOERL

**ESTUDO DE INUNDAÇÕES EM RIO NEGRINHO – SC SOB
A ÓTICA DOS DESASTRES NATURAIS**

FLORIANÓPOLIS
2010

ROBERTO FABRIS GOERL

**ESTUDO DE INUNDAÇÕES EM RIO NEGRINHO – SC SOB
A ÓTICA DOS DESASTRES NATURAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia. Área de concentração: Utilização e conservação de recursos naturais.

Orientador: Professor Joel Pellerin, Dr.

Florianópolis
2010

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária da
Universidade Federal de Santa Catarina

G597e Goerl, Roberto Fabris

Estudo de inundações em Rio Negrinho - SC sob a ótica dos desastres naturais [dissertação] / Roberto Fabris Goerl ; orientador Joel Pellerin. - Florianópolis, SC, 2010.

103 p.: il., grafs., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Programa de Pós-Graduação em Geografia.

Inclui referências

1. Geografia. 2. HEC-RAS. 3. Inundação. 4. Rio Negrinho. 5. Mapa de risco. 6. Vulnerabilidade. I. Pellerin, Joel. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDU 91

ESTUDO DE INUNDAÇÕES EM RIO NEGRINHO – SC SOB A ÓTICA DOS DESASTRES NATURAIS

Dissertação submetida ao Curso de Mestrado em Geografia, área de concentração: Utilização e Conservação de Recursos Naturais do Programa de Pós-Graduação em Geografia do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina, em cumprimento aos requisitos necessários à obtenção do grau acadêmico de **Mestre em Geografia**.

Professora Dra. Magaly Mendonça

Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Geografia

Aprovada pela Comissão Examinadora em 29/01/2010

Dr. Joel Pellerin (Presidente e Orientador - GCN/UFSC)

Dr. Carla Van Der Haagen Custodio Bonetti (Membro - GCN/UFSC)

Dr. Masato Kobiyama (Membro - ENS/UFSC)

Prof. Dr. Fabiano Antonio de Oliveira (Membro - UNIVILLE)

*Ainda que eu andasse pelo **vale da sombra da morte**, não temeria mal algum, porque Tu estás comigo (Salmo 23,4).*

O homem bom, do bom tesouro do seu coração tira o bem; e o homem mau, do seu mau tesouro tira o mal (Lucas 6,44).

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor.

Ao Professor Joel Pellerin pela orientação e apoio desde a graduação até o mestrado em minha pesquisa.

Ao Professor Masato Kobiyama pela amizade, orientação e dedicação no desenvolvimento da pesquisa. Pelo espaço, recursos, tempo cedidos para me auxiliar.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina pela oportunidade de realizar o mestrado.

Ao CNPQ por ter financiado a pesquisa através da bolsa de mestrado.

Aos professores Carla Bonetti e Fabiano Oliveira pelas contribuições na banca de avaliação.

Agradeço a minha família, se sou o que sou, devo a eles. Aos meus pais Ricardo e Vera, aos meus irmãos Gustavo e Felipe e aos demais familiares que sempre torceram por mim.

Agradeço a Fabiane, gatinha do meu coração, pela paciência no meio da turbulência final, pela compreensão, carinho e apoio.

Aos colegas e amigos do LabHidro, Aline, Claudia, Fernando, Gabriela, Gean, Henrique, Joana, Nadine, Patrícia, Pedrinho, Simone. Especialmente ao Fernando e Henrique pelos dados de vazão da SAMAE.

Agradeço a Nice, Magda pela amizade, carinho, cervejas e petiscos.

Aos meus velhos amigos Gustavo e Rafael.

Ao Kleber pelas inúmeras conversas e conselhos.

Ao Roger, João, Ralflem, Cristiano pelos inúmeros cafés e pastéis de camarão.

Aos meus colegas de mestrado, turma 2008, especialmente ao meu xará Roberto Finatto.

A prefeitura de Rio Negrinho, especialmente a Elaine e Leoni pela disponibilidade dos dados e bases cartográficas.

A todos que me auxiliaram a cumprir mais essa etapa dessa aventura chamada vida.

Muito Obrigado!!!

RESUMO

As inundações, bem como os demais tipos de desastres naturais, têm ocasionado freqüentemente diversos prejuízos socioeconômicos e ambientais. Muitos autores comentam que a intensidade e freqüência das inundações têm aumentado, e conseqüentemente os danos a ela associados. Para mitigar estes danos tem-se adotado diferentes medidas, sendo que o mapeamento de áreas de risco é uma delas. O município de Rio Negrinho, assim como muitos outros municípios catarinenses, sofre continuamente com a ocorrência das inundações, sendo os eventos de 1983 e 1992 os mais severos. Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo desenvolver e aplicar uma metodologia para o mapeamento de áreas de risco a inundação em Rio Negrinho. Para isto duas abordagens foram utilizadas. Na primeira abordagem utilizou-se o modelo HEC-RAS para determinar as áreas inundáveis. Na segunda desenvolveu-se três índices: de Perigo, de Vulnerabilidade e de Risco. Para aplicar o HEC-RAS foram calculados as vazões para os períodos de retorno de 10, 50, 100, 200 e 500 anos. Estas respectivas vazões foram simuladas no modelo, obtendo a área inundável para cada período de retorno. O período de retorno de 10 anos caracterizou-se por uma vazão de 90 m³/s e uma área de 0,98 km². O período de retorno de 500 anos apresentou a vazão de 161 m³/s e a área de 1,25 km². Nota-se uma pequena diferença na magnitude das vazões e da área inundada, ocasionada pela pouca quantidade de dados. Dessa maneira buscou-se uma segunda abordagem para a elaboração do mapa de risco. Aplicou-se três índices: perigo, vulnerabilidade e risco. O índice de Perigo foi determinado pela relação entre a área abaixo da cota 792m pela área total do setor censitário. O índice de vulnerabilidade foi construído utilizando 6 variáveis coletadas no censo 2000. Cruzando o índice de perigo com o de vulnerabilidade obteve-se o índice de risco de cada setor censitário, resultando por sua vez o mapa de risco da área urbana. Os setores adjacentes ao rio Negrinho foram os que apresentaram o maior índice de perigo, principalmente os setores 0001, 0008, 0009, 0010 e 0018. A vulnerabilidade foi obtida a partir de 6 variáveis censitárias, relacionadas às características demográficas, de educação, dependência e renda. Os setores que apresentaram maior vulnerabilidade foram o 0004 (4,17), 0011 (4,71), 0020 (4,85), 0031 (4,08) e 0030 (7,34), sendo que o setor 0030 apresentou o maior valor em 5 das 6 variáveis. Dentre os setores de baixa vulnerabilidade, destacam-se o 0001 (1,09), 0002 (2,15), 0009 (1,47), 00015 (1,41) e 0035 (1,85).

Cruzando o perigo com a vulnerabilidade obteve-se o risco. Analisando o risco observa-se que o perigo apresentou maior correlação com o mesmo. Em setores de alta vulnerabilidade e baixo perigo, o risco ficou menor. E em setores de vulnerabilidade baixa, mas alto perigo, o risco foi maior. Isso porque mesmo que um setor apresente alta vulnerabilidade, mas não está sujeito a inundar, seu risco é baixo. O HEC-RAS mostrou-se um bom modelo para determinar as áreas inundáveis, mas devido a falta de dados seus resultados não puderam ser validados. Os índices de perigo, risco e vulnerabilidade demonstraram ser um bom método para gerenciar as inundações em Rio Negrinho.

Palavras-chave: HEC-RAS, inundação, risco, vulnerabilidade, Rio Negrinho

ABSTRACT

Floods and other types of natural disasters have often caused many socioeconomic and environmental damage. Many authors comments that the intensity and frequency of floods has increased, and consequently the damage associated with it. To mitigate this damage various measures has been adopted, and the mapping of risk areas is one of them. The city of Rio Negrinho, as well as many other municipalities in Santa Catarina, suffers constantly with the occurrence of floods, and the events of 1983 and 1992 were the most severe. In this context, this present work aimed to develop and implement a methodology for mapping flood risk areas in Rio Negrinho. Two approaches were used. The first approach used the HEC-RAS model to determine the flooded areas. The second developed three indices: Hazard, Vulnerability and Risk. To apply the HEC-RAS flow discharges were calculated for return periods of 10, 50, 100, 200 and 500 years. These flows were simulated in their model, obtaining the flood prone areas for each return period. The return period of 10 years was characterized by a flow of 90 m³/s and an flood area of 0,98 km². The return period of 500 years presented a flow of 161 m³/s area of 1,25 km². It is noticed a slight difference in the magnitude of flow and flooded area, caused by small amounts of data. Thus a second approach was developed for elaboration the risk map. Were applied three indexes: hazard, vulnerability and risk. The hazard index was determined by the ratio between the area under the quota 792m and the total area of census block. The vulnerability index was constructed using 6 variables collected in the 2000 census. Made a relationship between hazard and vulnerability, the risk index was established and consequently the risk map of urban area was elaborated. The block census adjacent of Negrinho river were the present the highest hazard index, mainly the blocks 0001, 0008, 0009, 0010 e 0018. The vulnerability was obtained from 6 census variables related to demographic characteristics, education, and income dependence. The block census with the highest vulnerability value were 0004 (4,17), 0011 (4,71), 0020 (4,85), 0031 (4,08) e 0030 (7,34), although the sector presented the 0030 higher value in 5 of 6 variables. Among the sectors of low vulnerability, the highlights are the 0001 (1,09) 0002 (2,15) 0009 (1,47), 00015 (1,41) and 0035 (1,85). Analyzing the risk, the hazard present a high correlation with it. In areas of high vulnerability and low risk, the risk was lower. And in areas of low vulnerability but high risk, the risk was higher. This is because even if a sector is highly vulnerable,

but is not a flood prone area, your risk is low. The HEC-RAS has proved a good model to determine areas susceptible to flooding, but due to lack of data results were not validated. The hazard indices, risk and vulnerability proved a good method to manage floods in Rio Negrinho.

Keywords: HEC-RAS, flood, risk, vulnerability, Rio Negrinho

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iv
SUMÁRIO	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
2.1 - GERAL.....	4
2.2 - ESPECÍFICOS.....	4
3. ÁREA DE ESTUDO	5
3.1 - BACIA DO RIO NEGRINHO.....	5
3.1.1 - Geologia.....	5
3.1.2 - Pedologia.....	7
3.1.3 - Relevo.....	11
3.1.4 - Vegetação.....	13
3.1.5 - Clima.....	13
3.2 - O MUNICÍPIO DE RIO NEGRINHO.....	16
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
4.1 – PERIGOS NATURAIS E DESASTRES NATURAIS.....	19
4.2 - RISCO E VULNERABILIDADE.....	22
4.2.1 - Risco.....	22
4.2.2 - Vulnerabilidade.....	22
4.2.3 – Tipos de Vulnerabilidade.....	27
4.2.3.1 - Vulnerabilidade Social.....	28
4.2.3.2 - Indicadores de Vulnerabilidade Social.....	28
4.3 - DESASTRES NATURAIS E A GEOGRAFIA.....	32
4.4 - MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO.....	34
4.5 - MODELOS HIDROLÓGICOS.....	37

4.6 - MODELAGEM HIDROLÓGICA APLICADA AO MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO.....	38
4.7 - HEC-RAS.....	40
4.8 – INUNDAÇÕES EM RIO NEGRINHO.....	42
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	44
5.1 – ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO DOS EVENTOS DE INUNDAÇÃO.....	44
5.2 - VULNERABILIDADE.....	44
5.3 - ÁREAS INUNDÁVEIS.....	48
5.3.1 - HEC-RAS.....	48
5.3.2 - Plano Diretor.....	52
5.4 - RISCO.....	53
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.	56
6.1 - INUNDAÇÕES EM RIO NEGRINHO – ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS.....	56
6.2 - ESTUDO DE INUNDAÇÕES UTILIZANDO O HEC-RAS.....	65
6.3 - ANÁLISES HIDROLÓGICAS NA SEÇÃO DA SAMAE.....	72
6.4 - VULNERABILIDADE.....	74
6.5 - PERIGO ESTIMADO.....	81
6.6 - MAPA DE RISCO.....	83
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	87
8. BIBLIOGRAFIA.....	91

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Número de pessoas afetadas e número de eventos de inundações entre 1963 -2008.....	2
Figura 3.1 - Bacia hidrográfica do rio Negrinho.....	6
Figura 3.2 - Mapa geológico da bacia do rio Negrinho.....	8
Figura 3.3 - Classes de solo da bacia do rio Negrinho.....	9
Figura 3.4 - Perfis topográficos: a) rio Serrinha, b) ribeirão dos Bugres e c) rio Negrinho.....	11
Figura 3.5 - Modelo Digital de Terreno da bacia do rio Negrinho.....	12
Figura 3.6 - Precipitação anual em Rio Negrinho.....	14
Figura 3.7 - Média mensal da precipitação em Rio Negrinho entre 1977 e 2008.....	15
Figura 3.8 - Localização do Município de Rio Negrinho – SC.....	17
Figura 3.9 - Evolução populacional do município de Rio Negrinho (1991 a 2009).....	17
Figura 4.1 - Fatores relacionados à vulnerabilidade.....	23
Figura 4.2 - Parâmetros que envolvem uma análise de risco.....	36
Figura 4.3 - Inundações mais severas de Rio Negrinho: a) 1983 e b) 1992.....	43
Figura 5.1 - Setores censitários da área urbana de Rio Negrinho – SC.	45
Figura 5.2 - Interface do HEC-RAS.....	49
Figura 5.3 - Fluxograma dos dados de entrada e saída do modelo HEC-RAS.....	50
Figura 5.4 - Edição das seções transversais e demais feições.....	51
Figura 5.5 - Marca das inundações de 1983 e 1992.....	52
Figura 5.6 - Fluxograma das principais etapas metodológicas e dos principais resultados.....	55
Figura 6.1 - Precipitação mensal de 1983.....	56
Figura 6.2 – Precipitação diária de Julho de 1983.....	57

Figura 6.3 – Precipitação mensal de 1984.....	57
Figura 6.4 – Precipitação diária de Agosto de 1984.....	58
Figura 6.5 – Precipitação mensal de 1992.....	58
Figura 6.6 – Precipitação diária de maio de 1992.....	59
Figura 6.7 – Precipitação mensal de 1995.....	59
Figura 6.8 – Precipitação diária de julho de 1995.....	60
Figura 6.9 – Precipitação mensal de 1997.....	60
Figura 6.10 – Precipitação diária de janeiro de 1997.....	61
Figura 6.11 – Precipitação mensal de 1998.....	61
Figura 6.12 – Precipitação diária de janeiro de 1998.....	62
Figura 6.13 – Precipitação diária associada ao evento de setembro de 2009.....	63
Figura 6.14 – Total precipitado a cada 6hs entre os dias 27 a 30 de setembro de 2009.....	63
Figura 6.15 – Foto da inundação de setembro de 2009: a) seção da SAMAE e b) centro da cidade	64
Figura 6.16 – Tempos de Retorno e suas vazões correspondentes para a seção da SAMAE.....	66
Figura 6.17 – Perfil da área inundada no rio Negrinho para Tr 10 anos.....	67
Figura 6.18 – Perfil da área inundada no rio Negrinho para Tr 50 anos.....	67
Figura 6.19 – Perfil da área inundada no rio Negrinho para Tr 100 anos.....	68
Figura 6.20 – Perfil da área inundada no rio Negrinho para Tr 200 anos.....	68
Figura 6.21 – Perfil da área inundada no rio Negrinho para Tr 500 anos.....	69
Figura 6.22 – Trecho do canal onde ocorre o afunilamento da área inundada e da planície de inundação.....	70

Figura 6.23 – Mapa das áreas inundáveis para diferentes períodos de retorno no perímetro urbano de Rio Negrinho.....	71
Figura 6.24 – Dados observados e simulados na estação da SAMAE..	72
Figura 6.25 – Curva-chave estabelecida com base nos dados medidos.....	73
Figura 6.26 – Curva-chave estabelecida com base nos dados simulados e ajustados.....	73
Figura 6.27 – Características demográficas dos setores: a) média de moradores por residência (em habitantes) e b) % da população dependente (abaixo de 12 e acima de 65 anos).....	75
Figura 6.28 – Características populacionais do setor: a) população total do setor, b) densidade demográfica (hab/km ²).....	76
Figura 6.29 – Características sócias do setor: a) % de pessoas analfabetas acima de 12 anos, b) % da população sem salário ou com renda de até 1 salário mínimo.....	77
Figura 6.30 – Mapa de vulnerabilidade da área urbana do município de Rio Negrinho.....	80
Figura 6.31 – Área inundada abaixo da cota 792 m.....	81
Figura 6.32 – Mapa do Índice de Perigo da área urbana de Rio Negrinho.....	83
Figura 6.33 – Correlações entre os parâmetros mapeados: a) Risco e Perigo, b) Risco e Vulnerabilidade e c) Vulnerabilidade e Perigo.....	85
Figura 6.34 – Mapa de Risco da Área Urbana de Rio Negrinho – SC..	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Tipos de solo e suas características correlatas na bacia do rio Negrinho.....	10
Tabela 4.1 - Termos e definições utilizadas para o termo perigo/perigo natural.....	21
Tabela 4.2 - Definições sugeridas para o termo vulnerabilidade.....	24
Tabela 4.3 - Principais indicadores de vulnerabilidade	31
Tabela 4.4 - Alguns métodos e resultados de mapeamentos de áreas inundáveis.....	40
Tabela 5.1 - Código dos setores e seus respectivos bairros em 2000....	45
Tabela 5.2 - Variáveis censitárias e variáveis utilizadas para mensurar a vulnerabilidade.....	46
Tabela 5.3 - Valores de “n” de Manning sugeridos por HEC (2008c)..	54
Tabela 6.1 - Características das inundações para cada período de retorno.....	70
Tabela 6.2 - Dados socioeconômicos e a vulnerabilidade de cada setor censitário.....	79
Tabela 6.3 - Área inundada de cada setor censitário.....	82

LISTA DE ABREVIATURAS

ADP – Acoustic Doppler Profiler

AMUNESC – Associação de Municípios do Nordeste de Santa Catarina

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

EM-DAT – Emergency Disaster Data Base

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

GEOBANK – Banco de Dados de Informação Geocientífica

GPS – Sistema de Posicionamento Global

HEC – Hydrologic Engineering Center

HEC-RAS – Hydrologic Engineering Centers River Analysis System

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano

MDT – Modelo Digital de Terreno

PIB – Produto Interno Bruto

SAMAE – Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto

SIG/GIS – Sistema de Informações Geográficas

SUDERHSA – Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

1. INTRODUÇÃO

Inundações são fenômenos naturais que afetam a vida da humanidade desde a antiguidade. Entre todos os tipos de desastres naturais, as inundações são os que impactam o maior número de pessoas, deixando centenas de milhares de desabrigados todos os anos (Tung, 2002; Moore *et al.*, 2005). Conforme UN (2004), as inundações causaram, nas últimas décadas, no mundo, cerca de um terço dos prejuízos e danos causados por todos os tipos de desastres e foram também responsáveis por dois terços das pessoas afetadas por estes desastres.

Kron (2002) comenta que as inundações têm se tornado extremamente severas nas décadas recentes e isto evidencia que ambos, a intensidade e a frequência vêm aumentando. Este aumento pode estar associado principalmente ao crescimento populacional ocorrido nas últimas décadas. Muitas planícies de inundações foram ocupadas por parques industriais e áreas residências. Além disto, os centros urbanos se desenvolveram, diminuindo a capacidade de infiltração e aumentando o volume do escoamento superficial e conseqüentemente o pico da vazão das cheias (VENDRAME e LOPES, 2005).

Atualmente, controlar o aumento do número de ocorrências das inundações severas vem se tornando praticamente inalcançável. Por outro lado, medidas preventivas e mitigadoras devem se tornar mais eficazes e acessíveis, objetivando diminuir os danos e o número de pessoas afetadas. Segundo Yalcin e Akyurek (2004), alguns problemas relacionados a inundações podem ser solucionados através de estudos planejados e projetos detalhados sobre áreas propensas a inundações. Oliveira *et al.* (2004) comentam que o zoneamento do território baseado na avaliação da susceptibilidade e do risco é considerado um instrumento fundamental para a integração dos riscos no planejamento ambiental.

Analisando dados do EM-DAT – *International Disaster Database* (Figura 1.1), nota-se que nos últimos 46 anos houve um grande aumento no número de pessoas afetadas pelas inundações, bem como o número de eventos severos. Entre os anos de 1976 e 2006, as inundações ocasionaram aproximadamente US\$ 337.833.848.000 de prejuízos em todo mundo (EM-DAT, 2006). Como esse banco de dados

registra apenas desastres de grande magnitude, estes danos são certamente ainda maiores. Para Kron (2002), um vasto número de pequenos e médios eventos ocasiona cerca de US\$ 10 bilhões de prejuízos econômicos todos os anos. No estado de Santa Catarina, segundo Herrmann *et al.* (2007) e Marcelino *et al.* (2004), entre 2000 e 2003, as inundações causaram prejuízo de aproximadamente US\$ 137.502.686,00.

Todini (1999) comenta que os danos ocasionados pelas inundações irão aumentar significativamente, em parte devido aos grandes riscos inerentes das áreas urbanizadas, e em parte devido às mudanças climáticas. Diante desta problemática, faz-se necessário elaborar medidas preventivas e mitigadoras que possam diminuir os impactos destes eventos sobre as áreas consideradas de risco. Podem-se distinguir essas medidas entre estruturais e não-estruturais. As estruturais são caracterizadas pelas obras de engenharia como diques, barragens, piscinões, etc. As demais medidas que envolvem políticas públicas, mapeamento de áreas de risco, educação ambiental, etc., são enquadradas nas não-estruturais. As medidas não estruturais se destacam pelo seu baixo custo de implementação. Segundo Shidawara (1999), o mapeamento de áreas susceptíveis a inundações é uma das etapas mais importantes dentre todas as medidas existentes.

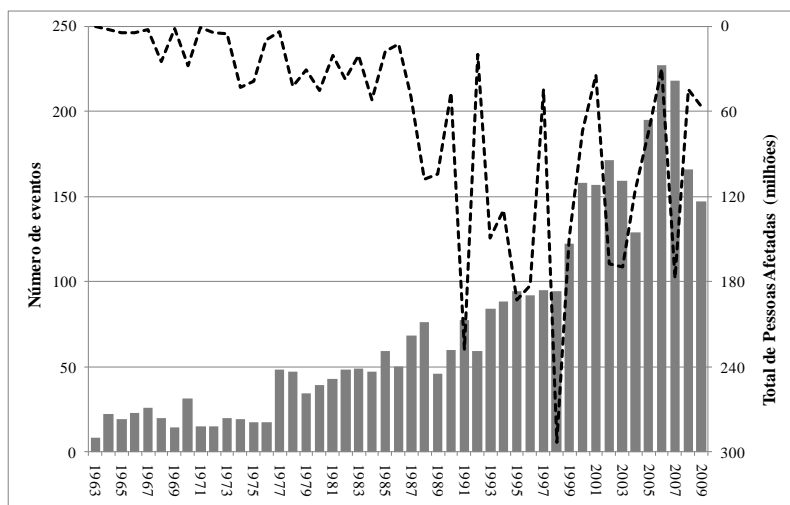


Figura 1.1 – Número de pessoas afetadas e número de eventos de inundações entre 1963-2009.

O Decreto Federal Nº 5.376 de 2005, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Defesa Civil e o Conselho Nacional de Defesa Civil, recomenda a identificação e inclusão das áreas de risco no plano diretor dos municípios. Em municípios que ainda estão em fase de desenvolvimento urbano, o mapeamento de áreas susceptíveis a fenômenos naturais é de suma importância para que os mesmos não se desenvolvam sobre as áreas de risco.

O município de Rio Negrinho - SC tem sofrido com diversas inundações. Mesmo assim, ainda não foram realizados mapeamentos das áreas inundáveis. No Plano Diretor do município, aprovado em 2007, as inundações são tratadas de maneira incipiente. Uma das dificuldades de inserir a temática das inundações nas políticas e de realizar pesquisas em Rio Negrinho é a falta de dados hidrológicos. Não há medições contínuas de vazão e apenas um ponto de medição de nível, que fica fora da área urbana.

Apesar destas dificuldades, estudos relacionados às inundações devem ser feitos, visto que a sua intensidade e frequência têm aumentado. Assim, as inundações em Rio Negrinho foram objeto de estudo do presente trabalho.

2. OBJETIVOS

2.1 - GERAL

Mapear as áreas de risco a inundação da área urbana do município de Rio Negrinho – SC utilizando um modelo hidrológico e aplicando índices de Risco, Perigo e Vulnerabilidade.

2.2 - ESPECÍFICOS

- Caracterizar fisicamente a bacia do rio Negrinho;
- Analisar as chuvas dos eventos de inunda es já ocorridos;
- Aplicar o modelo HEC-RAS para determinar as áreas inundáveis para diferentes tempos de retorno;
- Realizar uma análise hidrológica (cota-vazão) na se o da SAMAE com base em um evento de inunda o ocorrido em setembro de 2009.
- Construir e aplicar o  ndice de Vulnerabilidade, de Perigo e de Risco na área urbana de Rio Negrinho;

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1 - BACIA DO RIO NEGRINHO

A bacia do rio Negrinho (Figura 3.1) possui aproximadamente 302 km² e abrange parte dos municípios de Rio Negrinho e São Bento do Sul. Os principais afluentes do rio Negrinho são o ribeirão dos Bugres, o rio Serrinha, ribeirão Banhados, córrego do Salto e córrego Antinhas. No baixo curso do rio Negrinho está localizada a área urbana do município de Rio Negrinho.

3.1.1 - Geologia

A área de estudo está inserida na Formação Rio Bonito, pertencente ao Grupo Guatá, e nas Formações Rio do Sul e Mafra, pertencentes ao Grupo Itararé. Ambos os grupos estão inseridos em substrato sedimentar pertencente ao Super Grupo Tubarão (DNPM, 1986). A Formação Rio Bonito é constituída de depósitos flúvio-deltáicos, compreendendo arenitos imaturos (arcóseos e subarcóseos) esbranquiçados, finos a médios, localmente grosseiros, argilosos, micáceos e secundariamente arenitos muito finos, siltitos, argilitos, folhelhos carbonosos, leitos de carvão e conglomerados (DNPM, 1986). A Formação Rio do Sul é constituída de folhelhos e argilitos cinza-escuros na porção inferior, diamicitos acinzentados, com matriz arenosa, intercalados com arenitos muito finos na porção intermediária e folhelhos, normalmente várvidos, argilitos, ritmitos e siltitos na porção superior. A Formação Mafra é constituída por seqüência flúvio-marinha com predomínio de arenitos esbranquiçados, amarelados e avermelhados, finos a grosseiros, ocorrendo também diamicitos, ritmitos, conglomerados, argilitos e argilitos várvidos e possuindo uma área aflorante expressiva, especialmente na divisa com o Paraná (DNPM, 1986; SILVA e BORTOLUZZI, 1987).

Na Figura 3.2 tem-se o mapa geológico da bacia do rio Negrinho, elaborado com base na carta SG.22 – Curitiba, disponibilizadas pelo Serviço Geológico do Brasil (CMPR) através dos projetos GIS Brasil 1:1.000.000 e GEOBANK. Observa-se que a principal litologia encontrada na bacia são os arenitos e folhelhos, ocupando 93% da área total da bacia, seguidos de Gnaisse, Granulito e Gnaisse Granulítico com 5,7%.

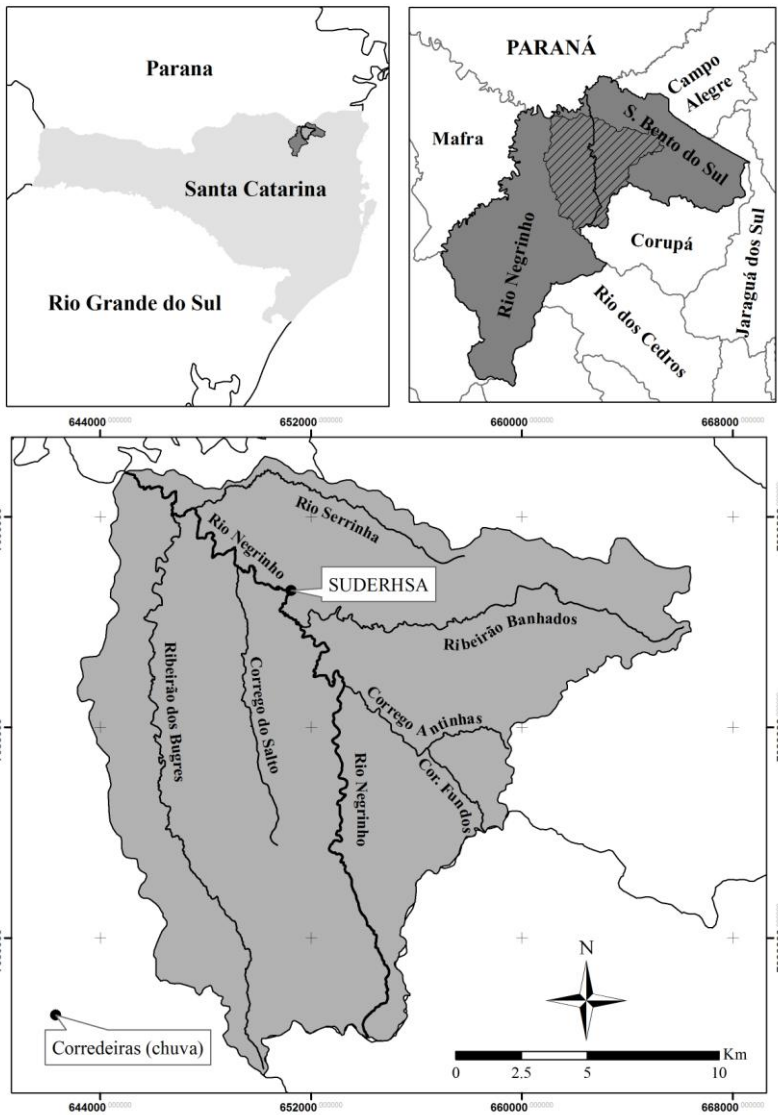


Figura 3.1 – Bacia hidrográfica do rio Negrinho.

3.1.2 - Pedologia

O principal tipo de solo encontrado na bacia do rio Negrinho é Cambissolo, Figura 3.3 e Tabela 3.1. Segundo a Embrapa (1998, 2006), os Cambissolos compreendem solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B incipiente bastante heterogêneo, tanto no que se refere à cor, espessura e textura, quanto no que diz respeito à atividade química da fração argila e saturação por bases. Este horizonte situa-se imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, exceto o fraco, ou sob horizonte H turfoso, possuindo seqüência A, Bi, C ou H, Bi, C. São derivados de materiais relacionados a rochas de composição e natureza bastante variáveis, desde as mais antigas que constituem o embasamento do Complexo Brasileiro até as de origem recente, passando pelas metamórficas do Complexo Brusque, pelas intrusivas graníticas referidas ao Eo-Paleozóico, pelas sedimentares do Paleozóico, pelo arenito Botucatu e pelas efusivas da Formação Serra Geral.

Os solos de maior ocorrência são Cambissolo Álico Tb A moderado e proeminente e Cambissolo Álico Tb A proeminente, associados a um relevo ondulado e forte ondulado, ocupando respectivamente 46% e 16,75 % da área total da bacia.

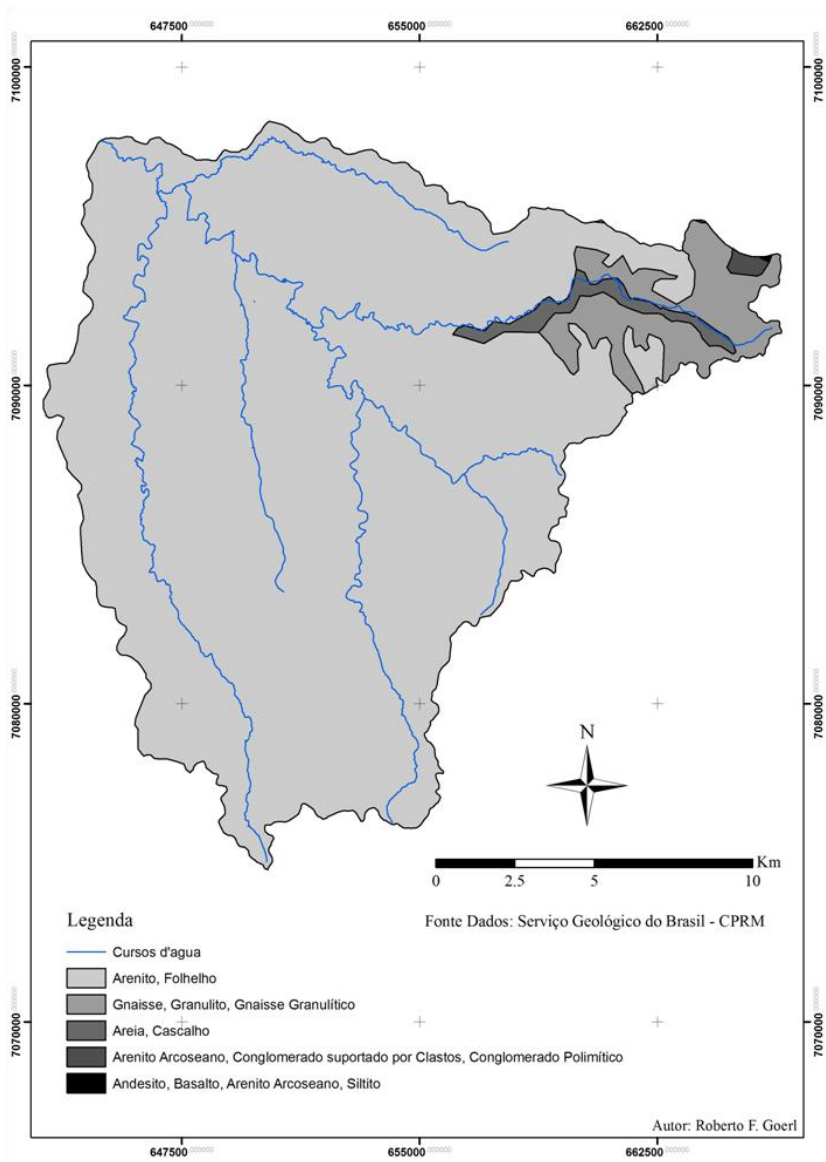


Figura 3.2 – Mapa geológico da bacia do rio Negrinho

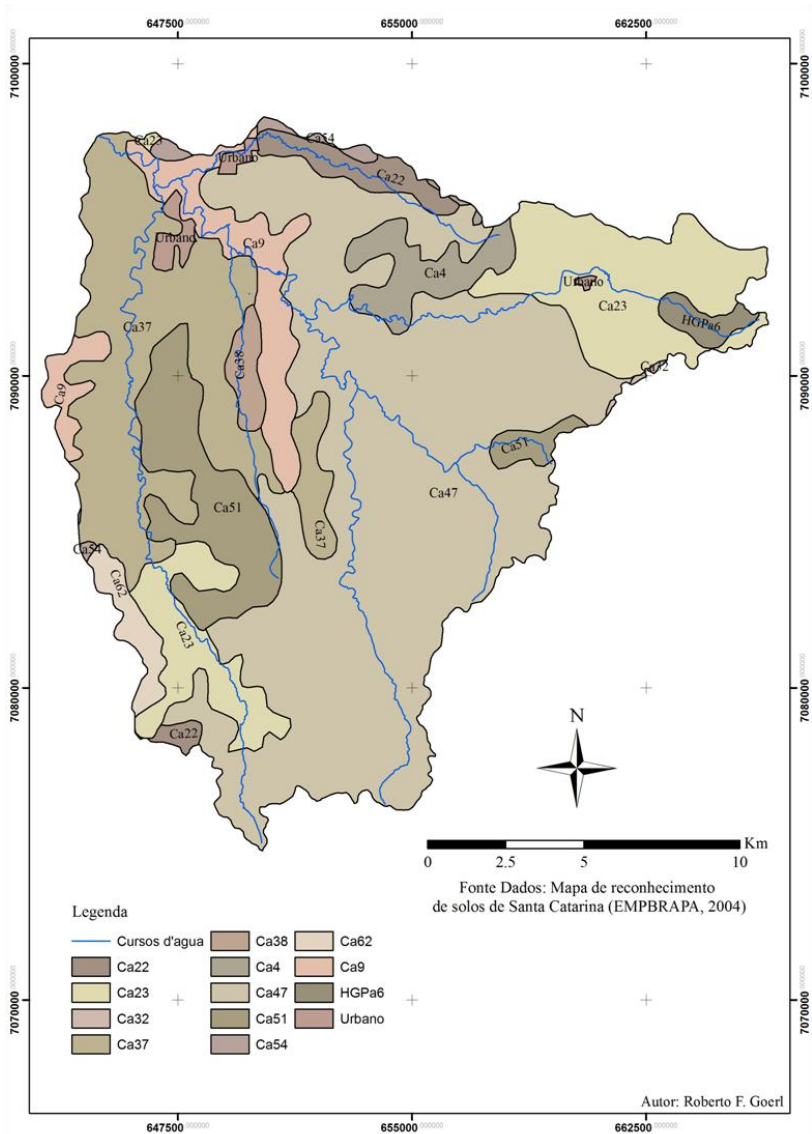


Figura 3.3 – Classes de solo da bacia do rio Negrinho

Tabela 3.1 – Tipos de solo e suas características correlatas na bacia do rio Negro

Simbologia	Solo	Textura	Vegetação	Relevo	Área (km²)
Ca22	Associação Cambissolo Álico Tb A moderado + Podzólico Bruno-Acinzentado Álico A moderado	Argilosa/média argilosa	Ambos fase floresta subtropical perenifólia	Suave ondulado e ondulado	6,5
Ca23	Associação Cambissolo Álico Tb A moderado + Podzólico Bruno-Acinzentado Álico A moderado	Argilosa/média argilosa	Ambos fase floresta subtropical perenifólia	Ondulado e forte ondulado	41,28
Ca32	Cambissolo Álico Tb A moderado + Solos Litólicos Distróficos A moderado	Argilosa/argilosa	Ambos fase floresta tropical perenifólia	Montanhoso e escarpado	0,25
Ca37	Cambissolo Álico Tb A moderado e proeminente	Média	Fase floresta e campo subtropical,	Ondulado e forte ondulado	50,59
Ca38	Associação Cambissolo Álico Tb A moderado + Cambissolo Álico Tb A moderado + Podzólico Vermelho-Amarelo Álico Tb A moderado	Média/argilosa/ argilosa	Todos fase floresta tropical/subtropical perenifólia	Ondulado e forte ondulado	3,31
Ca4	Cambissolo Álico Tb A moderado	Argilosa cascalhenta	Fase floresta tropical perenifólia	Forte ondulado	9,24
Ca47	Cambissolo Álico Tb A proeminente	Argilosa	Fase floresta subtropical perenifólia	Forte ondulado	139,98
Ca51	Associação Cambissolo Álico Tb A proeminente + Solos Litólicos Álicos A proeminente	Argilosa/média	Ambos fase floresta subtropical perenifólia	Ondulado e forte ondulado	22,00
Ca54	Associação Cambissolo Álico Tb A proeminente + Cambissolo Álico latossólico A proeminente	Média/média	Ambos fase floresta subtropical perenifólia	Suave ondulado, ondulado e forte ondulado	1,79
Ca62	Associação Cambissolo Álico Tb A húmico + Solos Litólicos Álicos A húmico	Muito argilosa/média	Ambos fase floresta e campo subtropical	Ondulado e forte ondulado	4,42
Ca9	Cambissolo Álico Tb A moderado	Argilosa	fase floresta subtropical perenifólia	Suave ondulado e ondulado	18,07
HGPa6	Associação Glei Pouco Húmico Álico Tb + Cambissolo Álico Tb gleico A húmico	Média/argilosa	ambos fase floresta subtropical perenifólia de várzea	Praticamente plano e plano	2,79

3.1.3 - Relevo

Na Figura 3.4 são apresentados os perfis topográficos do rio Serrinha, do ribeirão dos Bugres e do rio Negrinho. O rio Serrinha é o que possui o menor comprimento e a menor amplitude altimétrica, variando 121 m em 13 km de distância, apresentando a declividade média de 0,9%. O ribeirão dos Bugres varia 177 m em seus 29 km, com a declividade média de 0,6%. O rio Negrinho, por sua vez, varia 180 m ao longo dos seus 38 km, apresentando a mais baixa declividade entre os três, cerca de 0,4%. Observa-se nos perfis que há uma rápida variação altimétrica próximo as cabeceiras, especialmente no rio Negrinho e ribeirão dos Bugres. Após isso, os três rios correm em mais de 50 % de seu curso sobre uma mesma cota, com pouca variação altimétrica no médio e baixo curso, sendo a cota 800 m para o Serrinha e o Negrinho, e 820 m para o Bugres.

Na Figura 3.5 tem-se o Modelo Digital de Terreno (MDT) construído com base nas cartas planialtimétricas disponibilizadas pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural e Santa Catarina S.A - EPAGRI, escala 1:50.000. Nota-se uma variação de 200 m de altitude dentro da bacia, sendo as altitudes mínimas e máximas 980 e 780 m respectivamente. As terras mais altas da bacia encontram-se a Leste, especialmente nas cabeceiras do rio Negrinho e dos Bugres.

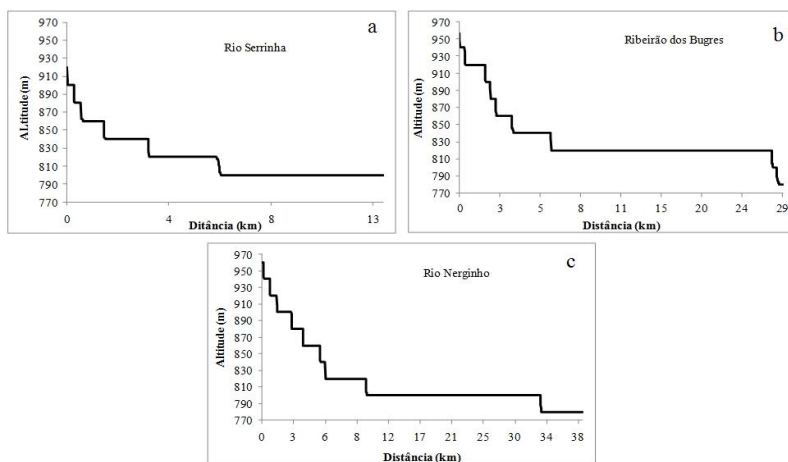


Figura 3.4 – Perfis topográficos: a) rio Serrinha, b) ribeirão dos Bugres e c) rio Negrinho

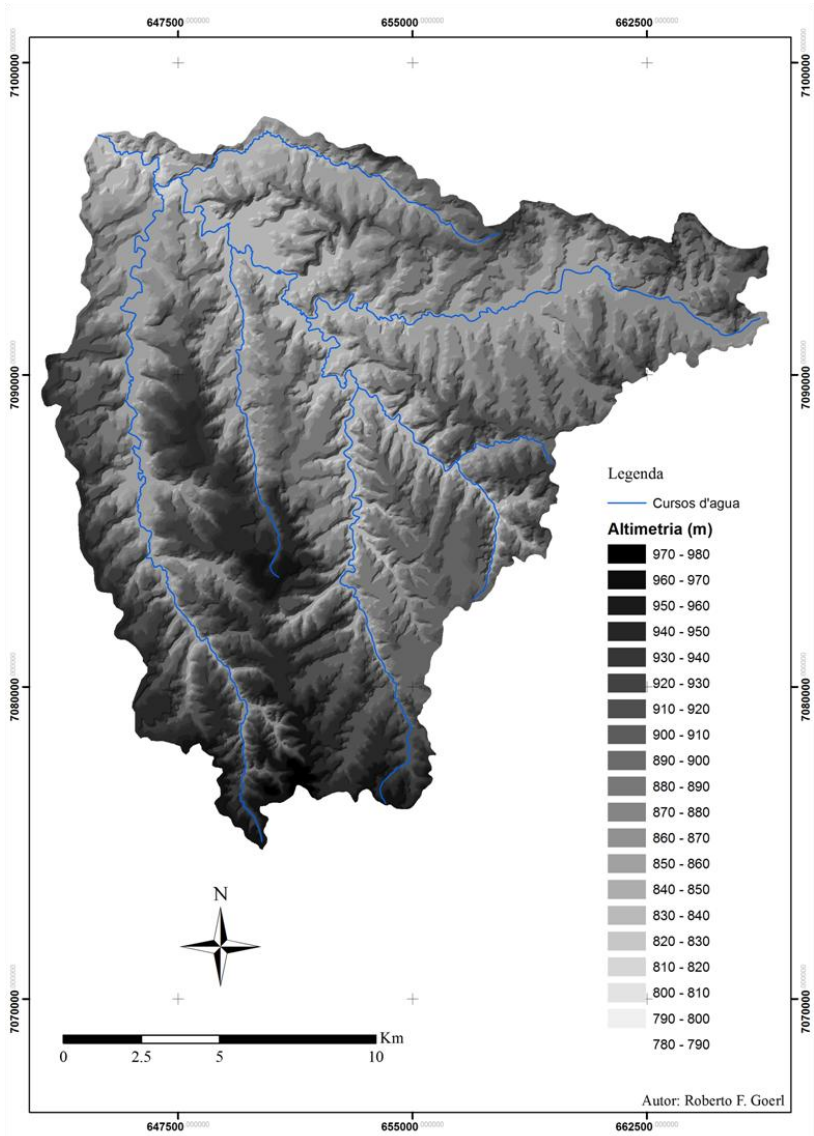


Figura 3.5 – Modelo Digital de Terreno da bacia do rio Negrinho.

3.1.4 - Vegetação

A bacia está localizada na região de predominância da Floresta de Araucária denominada de Floresta Ombrófila Mista (Klein, 1978). Essa floresta é caracterizada por apresentar como espécie dominante o pinheiro do Paraná (*Araucaria angustifolia*). Essa vegetação não constitui uma formação homogênea e contínua, mas é formada por diversos tipos de submatas constituídas por árvores características nas diferentes áreas de recorrência.

Mais especificamente, a cobertura vegetal da região está inserida na transição entre as unidades fitogeográficas da Floresta Ombrófila Mista (Floresta com Araucária) e Floresta Ombrófila Densa (Floresta Atlântica), ambas constituintes do bioma Mata Atlântica. A cobertura original da região foi na sua maior parte descaracterizada pela ação antrópica, que desde a colonização vinha sendo feita, principalmente, pela exploração das florestas para extração de madeiras, bem como pela implantação de cultivos anuais e pelas pastagens para a criação extensiva de gado bovino (SANTA CATARINA, 1986).

Na região, atualmente, a cobertura vegetal predominante é de floresta secundária em estágio avançado de regeneração, devido ao corte seletivo de araucária (*Araucaria angustifolia*), imbuia (*Ocotea porosa*) e cedro (*Cedrella fissilis*) e ao corte raso, que ocorreram nas décadas de 1960 e 1970. Nessa época a cobertura original foi substituída por cultivos anuais, pastagens e para implantação de florestas plantadas com espécies exóticas, como o pinus (*Pinus taeda*).

Hoje, a economia da região é movida pelo reflorestamento de pinus, que abastece principalmente a indústria moveleira (Prefeitura Municipal de Rio Negrinho, 2009).

3.1.5 - Clima

Neppel Dalagnol (1999 e 2001) realizou a análise das características climáticas da região com base nos dados de 1991 a 2000. Segundo este autor, a temperatura média para o período analisado foi de 16,8 °C, sendo o mês de janeiro o que apresentou à média mais elevada, 20,6 °C. Os ventos predominantes são de leste e a umidade relativa média é em torno de 75%, variando em torno de $\pm 10\%$. Em relação ao regime pluviométrico, com base em dois pluviômetros e para diferentes períodos de análise, a precipitação média anual é de 1818,3 mm (1991-

2000) e de 1597,6 mm (1977-1999) a jusante e a montante da área urbana, respectivamente.

As Figuras 3.6 e 3.7 apresentam o regime pluviométrico anual e mensal de rio Negrinho. Estes dados foram coletados da estação Corredeiras, localizada a 750m de altitude, nas coordenadas 26°25'10"S e 49°34'23"W, dentro dos limites de Rio Negrinho. Na Figura 3.6 observa-se os acumulados anuais de 1977 a 2008 e os anos que ocorreram inundações. Nota-se que em alguns anos onde ocorreram inundações, como em 1983 e 1998, foram os que apresentaram os maiores volumes de chuva.

Os meses de Janeiro, Fevereiro e Outubro são os que apresentaram maior média (Figura 3.7), podendo estar associados a formação de chuvas convectivas/orográficas locais (Janeiro e Fevereiro) e a entrada de Complexos Convectivos de Mesoescala (Outubro).

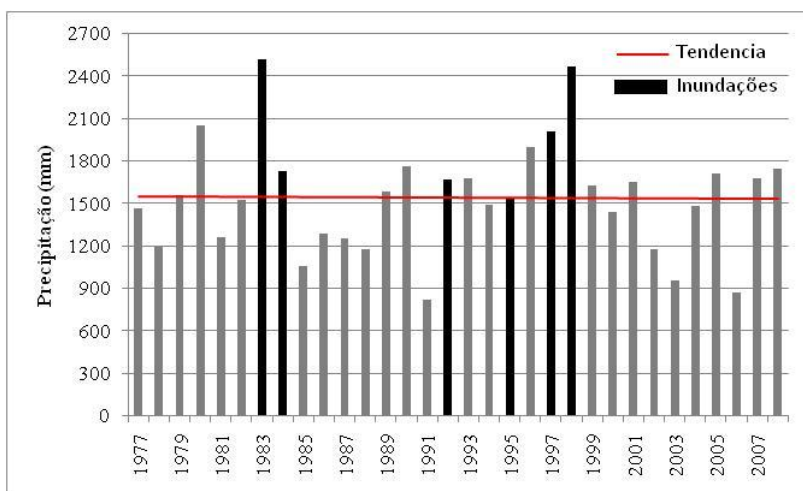


Figura 3.6 – Precipitação anual em Rio Negrinho.

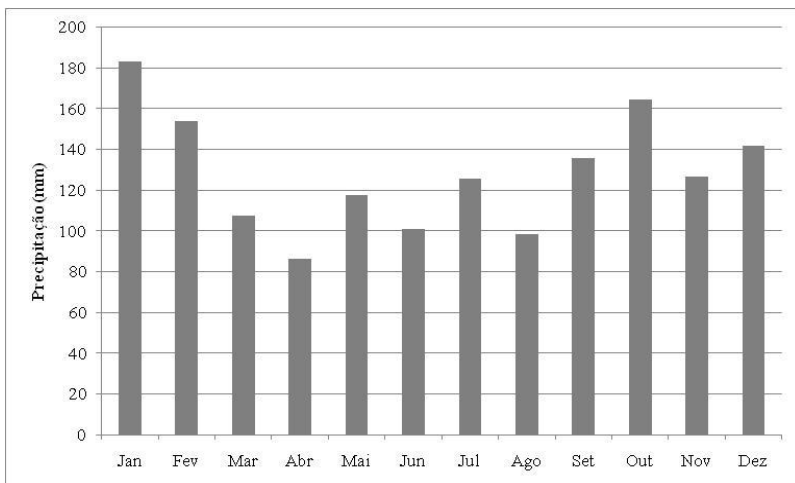


Figura 3.7 – Média mensal da precipitação em Rio Negrinho entre 1977 e 2008

3.2 - O MUNICÍPIO DE RIO NEGRINHO

Rio Negrinho possui a área de 908 km², deste total, 4,3 % é considerado urbano e 95,7% rural. O município está localizado no planalto norte de Santa Catarina, entre as latitudes 26°12'29" e 26°42'14"S e longitudes 49°26'39" e 49°46'28"W (Figura 3.8). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, Rio Negrinho possui atualmente 42.237 habitantes, tendo aumentado sua população em aproximadamente 65% desde 1991 (Figura 3.9). Segundo Schoeffel (2004), o município de Rio Negrinho tem índices percentuais de crescimento anual (média de 2,78% ao ano) maior que a média de todos os municípios que compõem a Associação de Municípios do Nordeste de Santa Catarina – AMUNESC (2,29% ao ano) e mais ainda se comparado ao índice do estado de Santa Catarina, que é, em valores médios, de 1,61% ao ano. Atualmente, a densidade demográfica é de 46,5 hab/km². Quando analisadas a área urbana e rural separadamente, nota-se que há uma maior concentração populacional na área urbana, onde a densidade demográfica sobe para 812 hab/km².

Conforme IBGE (2009), os terrenos a Oeste da divisa da Colônia de São Bento, da Companhia Colonizadora Hanseática, pertenciam à importante família "Franco", de Curitiba, que, em diversos pontos, localizou capatazes com a finalidade de vigiarem a terra. Foi assim que, em 1875 se estabeleceram no local as famílias "Ferreira de Lima, Simões de Oliveira e Gravi, todas oriundas de São José dos Pinhais, no Estado do Paraná. Com a construção em 1880, da Estrada de Rodagem Dona Francisca, trecho de São Bento a Rio Negro, via Rio Negrinho, várias famílias alemãs da Colônia de São Bento, se transferiram para Rio Negrinho, mencionando-se entre elas, as de José Brey, Luiz Scholz, e a de Carlos Hantschel, que deixaram numerosa descendência.

Com a construção, em 1910, da Estrada de Ferro São Paulo - Rio Grande, trecho São Francisco - Porto União, a localidade tomou grande impulso e novas famílias vieram juntar-se às já existentes. Dentre elas, menciona-se as de José Grossi, Victor Soares, Capitão Alfredo Pinto de Oliveira, Bernardo Olsen, Paulo Wehmut, Jacob Decher, Otto Baunmer, Henrique Kwitschal, Henrique Hatschbach, formando, assim, uma aldeia entre a Ponte do rio Negrinho e o Quilômetro 103, que foi, na realidade, o início da futura cidade de Rio Negrinho.

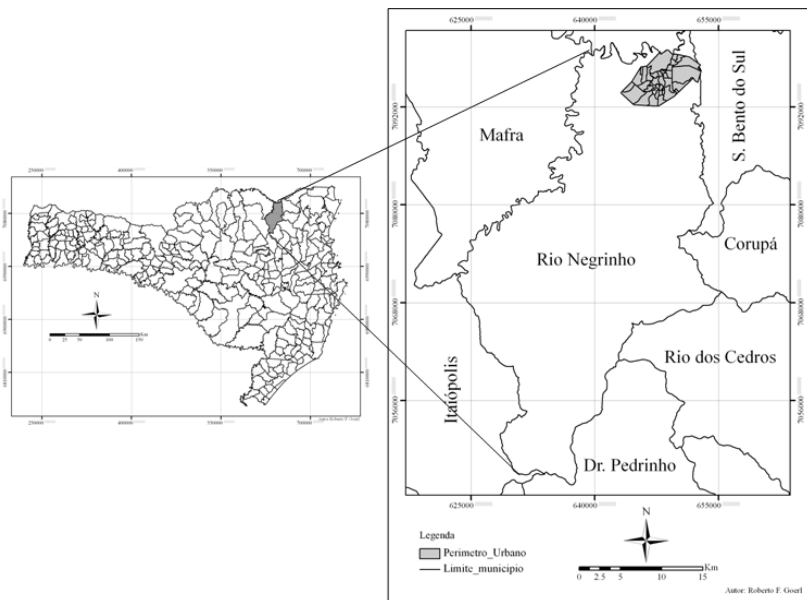


Figura 3.8 – Localização do Município de Rio Negrinho - SC

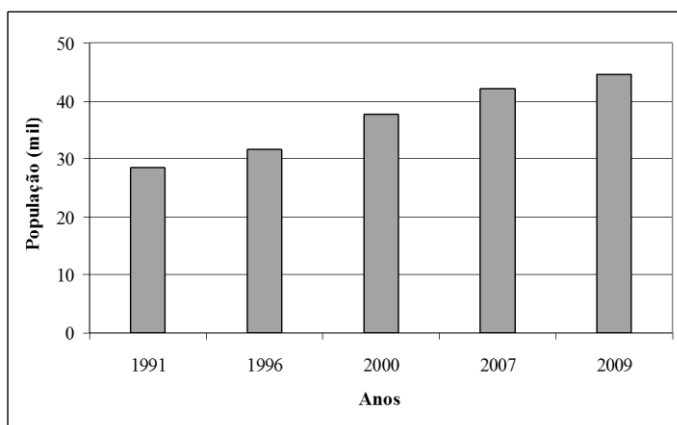


Figura 3.9 – Evolução populacional do município de Rio Negrinho (1991 a 2009¹).

¹ Os dados de 2009 foram estimados pelo Ministério da Saúde, obtidos através do DATASUS (www.datasus.gov.br)

Foi nesta ocasião, que se iniciou a exportação da erva -mate e madeira em toras, produtos que por largos anos construíram o principal ramo de comércio da localidade. Com a instalação, em junho de 1918, da firma Jung & Cia., e conseqüente loteamento de terras, novas famílias vieram juntar-se ao núcleo existente. O nome do município de Rio Negrinho, criado pela lei Estadual nº 133, de dezembro de 1953, deu-se em virtude de que no mesmo encontram-se as nascentes do rio Negrinho.

Como comentado anteriormente, a área urbana do município possui alta densidade demográfica, quando comparado com o município inteiro. Com base nos dados coletados pelo IBGE no censo de 2000, 85 % da população de Rio Negrinho residia na área urbana. Por esta razão, a área final de estudo foi a área urbana do município. Qualquer impacto causado pela ocorrência de um desastre na área urbana certamente causará um grande impacto em todo o município, pois na área urbana que se encontram estações de tratamento de água, serviços básicos, bancos, a administração municipal, entre outros. Além disso, o presente trabalho analisou a vulnerabilidade do município, sendo esta o reflexo de várias características sociais. Dessa maneira, enfocando a área urbana teve-se uma representatividade maior do que analisando o município como um todo.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 – PERIGOS NATURAIS E DESASTRES NATURAIS

Os perigos naturais (*natural hazards*) são processos ou fenômenos naturais potencialmente prejudiciais que ocorrem na biosfera, que podem causar sérios danos sócio-econômicos as comunidades expostas. (ISDR, 2002; UNDP, 2004). Inundações, deslizamentos e outros tipos de fenômenos naturais potencialmente causadores de desastres podem ser denominados perigos naturais. Alcántara-Ayala (2002) comenta que perigos naturais têm a característica de colocar em risco diferentes entidades e classes sociais, mas esse risco não se refere aos fenômenos naturais *per se*, mas a junção dos fenômenos naturais com os sistemas humanos e suas vulnerabilidades. Conforme Monteiro (1991), é imprescindível considerar que a existência de perigos naturais é uma função do ajustamento humano a eles, posto que sempre envolvem iniciativa e decisão humana, ou seja, “enchentes não seriam danosas se o homem evitasse as planícies de inundação” (MONTEIRO, 1991, p. 08).

Mattedi e Butzke (2001) comentam que o termo perigo é uma categoria que se destaca pela dificuldade de precisá-la conceitualmente. O emprego do conceito de perigo pode abranger fenômenos como avalanches, terremotos, erupções vulcânicas, ciclones, deslizamentos, tornados, enchentes, epidemias, pragas, fome e muitos outros. A Tabela 4.1 apresenta algumas definições do termo perigo (*hazard*). Nota-se que apesar de pequenas singularidades, há um certo consenso nas definições do termo perigo e o que ele representa, que se trata de um evento natural com potencial de causar danos.

A partir da interação entre perigos naturais e sistema humano têm-se os desastres naturais (WEICHSELGARTNER, 2001). Um desastre natural sempre se origina de uma relação conflituosa entre homem e natureza. Por exemplo, devido à dinâmica natural do rio, sempre haverá ocorrências de inundações, variando especialmente quanto à magnitude e ao intervalo de recorrência. Contudo, devido ao aumento populacional das últimas décadas e a expansão urbana, as planícies de inundação começaram a ser intensamente ocupadas. Deste conflito de interesses em que o homem ocupa áreas pensadas a eventos

naturais, sabendo muitas vezes da ocorrência dos mesmos, é que se dá a ocorrência dos desastres naturais.

Segundo Benson e Clay (2003), desastre natural é a ocorrência de um anormal e não freqüente perigo que impacta comunidades ou áreas vulneráveis, causando danos substanciais, alterando o estado de funcionalidade da comunidade afetada. Conforme ECLAC (2003), desastres são súbitos e inesperados eventos, geralmente acompanhados de perdas de vidas, que ocasiona em parte ou toda uma comunidade, prejuízos, ruptura temporária nos sistemas vitais, danos materiais e consideráveis distúrbios nas atividades econômicas e sociais. Para UNPD (2004), um desastre natural pode ser entendido como os efeitos da ocorrência de um perigo natural, onde os danos e prejuízos gerados excedem a capacidade de uma comunidade ou sociedade em lidar com o desastre.

Tabela 4.1 – Termos e definições utilizadas para o termo perigo/perigo natural

Autor	Termo	Definição
Schumm (1994)	Perigo	Refere-se ao risco ou perigo potencial, o qual geralmente é assumido como sendo uma catástrofe ou desastre em potencial, que envolve grandes danos e perda de vidas.
Smith (1996)	Perigo	Pode ser definido como uma ameaça potencial para o ser humano e seu bem-estar
Tobin e Montz (1997)	Perigo Natural	Representa uma interação potencial entre a sociedade e eventos naturais extremos.
Alcântara-Ayala (2002)	Perigo Natural	São eventos capazes de produzir danos ao espaço físico e social, não apenas durante a sua ocorrência, mas também posteriores a sua ocorrência, pelas associações de duas conseqüências.
Benson e Clay (2003)	Perigo Natural	Um evento geofísico, atmosférico ou hidrológico que tem o potencial de causar prejuízos e danos.
ISDR (2004)	Perigo	Evento físico, fenômeno ou atividade humana potencialmente danosa, que pode causar mortes, danos às propriedades, distúrbios sociais e econômicos ou degradação ambiental.
Dwyer <i>et al.</i> (2004)	Perigo Natural	Pode ser considerado como sendo um específico evento natural caracterizado por uma certa magnitude e probabilidade de ocorrência.
Koeler <i>et al.</i> (2004)	Perigo	É um fenômeno físico natural que pode ocasionar perda de vidas e danos aos objetos, construções e ao ambiente.
UNPD (2004)	Perigo Natural	Processos ou fenômenos naturais que ocorrem na biosfera e que podem constituir um evento danoso.
Twigg (2004)	Perigo	Uma ameaça potencial para o ser humano e seu bem-estar.
Schmidt-Thomé <i>et al.</i> (2006)	Perigo Natural	São definidos como eventos naturais extremos que podem causar danos.
Telesca (2007)	Perigo Natural	É um elemento físico que é intrinsecamente nocivo ao ser humano e é causado por forças alheias e ele. Mais especificamente, este termo refere-se a todos os eventos atmosféricos, hidrológicos, geológicos e de queimadas que tem o potencial de afetar adversamente a sociedade, suas estruturas e atividades.

4.2 - RISCO E VULNERABILIDADE

4.2.1 - Risco

A ocorrência de um desastre natural está sempre associada às perdas, sejam elas econômicas, sociais ou ambientais. Neste contexto, adota-se o termo risco, que, conforme UNDP (2004), é a probabilidade de conseqüências prejudiciais ou perdas (econômicas, sociais ou ambientais) resultantes da interação entre perigos naturais e os sistemas humanos. Usualmente para a definição de risco, adota-se a expressão:

$$R = H \cdot V \quad (1)$$

onde R é risco, H é perigo (*hazard*) e V é vulnerabilidade.

Chen *et al.* (2004) sugerem que risco pode ser visto como uma função de perigo, exposição e vulnerabilidade. Stephenson (2002) adota risco como sendo a probabilidade de ocorrência de um perigo, considerando para isso o tempo de retorno do mesmo (intensidade). UNPD (2004) sugere ainda uma modificação da relação apresentada anteriormente (Equação 1), sendo risco (R) uma função da probabilidade da ocorrência de um perigo (H), do elemento em risco (população) (Pop) e da vulnerabilidade (V). Dessa forma, tem-se:

$$R = H \cdot Pop \cdot V \quad (2)$$

4.2.2 - Vulnerabilidade

Quando um fenômeno natural que tem o potencial de causar danos ocorre (perigo), o dano depende do elemento exposto ao perigo. Este elemento exposto pode ser, segundo Barroca *et al.* (2006), a população, prédios ou infra-estrutura pública, atividades econômicas, serviços públicos, etc. Assim, este elemento sofrerá dano ou não, dependendo de sua vulnerabilidade que é inversamente proporcional à sua capacidade de suportar os danos. Para Koeler *et al.* (2004), a severidade de um evento, diretamente proporcional à vulnerabilidade, depende de quatro fatores: físico, ambiental, econômico e social (Figura 4.1), subdivididos em diversas categorias. Além disso, os fatores a serem identificados e estudados dependem do tipo de perigo natural e do seu local de ocorrência.

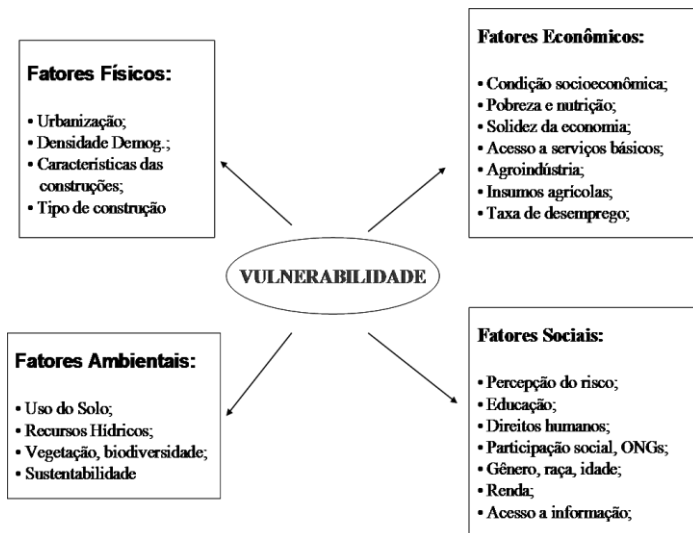


Figura 4.1 – Fatores relacionados à vulnerabilidade.

Fonte: Modificado de Koeler *et al.* (2004)

Segundo Pelling (2003), a vulnerabilidade denota a exposição ao risco e a incapacidade de evitar ou absorver danos em potencial, sendo dividida em três tipos: física (relacionadas às construções), social (relacionada ao sistema social, econômico e político) e humana (união entre a física e a social). Conforme CRID (2001), a vulnerabilidade pode ser definida como o grau de susceptibilidade ou de risco a que está exposta uma população de sofrer danos por um desastre natural.

Weichselgartner (2001) analisou uma variedade de definições para o termo “vulnerabilidade”, chegando à conclusão que o significado desse termo ainda não é claro. Na Tabela 4.2 observam-se algumas definições propostas para o termo vulnerabilidade com base nos trabalhos de Weichselgartner (2001) e Musser (2002), onde nota-se que ainda não há consenso sobre o seu significado.

Tabela 4.2 – Definições sugeridas para o termo vulnerabilidade.

Autor	Definição
Timmerman (1981)	Vulnerabilidade é o grau em que o sistema age adversamente em virtude da ocorrência de um evento perigoso.
Dow (1992)	São as diferentes capacidade de grupos e indivíduos para lidar com perigos naturais, com base em suas posição dentro da sociedade e no espaço.
Alexander (1993)	Vulnerabilidade humana são os custos e benefícios de habitar áreas de risco ao um desastre natural.
Cutter (1993)	Probabilidade de um grupo ou um individuo de estar exposto a um efeito adverso provocado por um perigo natural.
Warmington (1995)	Uma condição que, adversamente, afeta a habilidade das pessoas de se preparar para enfrentar ou responder a um perigo
Lewis (1999)	É o produto de um conjunto de condições prevalectes no qual os desastres podem ocorrer.
Comfort <i>et al.</i> (1999)	São as circunstâncias que colocam as pessoas em risco enquanto reduzem sua capacidade de resposta ou negam-lhe a proteção disponível.
Sarewitz e Pielke 2000	Refere-se à susceptibilidade de mudança de um sistema perante a ocorrência de um evento extremo
UNPD (2004)	Uma condição ou processo resultante de fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais, os quais determinam a probabilidade e escala dos danos causados pelo impacto de um determinado perigo.
NOAA (2009)	O nível de exposição da vida, propriedade, e recursos ao impacto de um perigo natural

Para Cutter *et al.* (2003), a vulnerabilidade a perigos naturais pode ser estudada a partir de dois princípios: a) identificando as condições que fazem pessoas ou locais vulneráveis a perigos naturais; b) assumindo que a vulnerabilidade é uma condição social. Estes autores desenvolveram para os Estados Unidos o Índice de Vulnerabilidade Social (SoVI), para o qual foram selecionadas cerca de 40 variáveis socioeconômicas e demográficas.

Alexander (1997) comenta que a vulnerabilidade pode ser subdividida em vários tipos, como vulnerabilidade total, vulnerabilidade econômica, vulnerabilidade tecnológica, vulnerabilidade residual, vulnerabilidade criminal. Esta última refere-se à ocorrência de crimes devido ao caos gerado por um desastre natural.

Na prática há inúmeras definições de vulnerabilidade, explicado pelos específicos aspectos da vulnerabilidade, que dependem do tipo de estudo, da análise e resultado requerido, do tipo de perigo (fenômeno natural), da escala temporal e espacial e das especificidades do local de estudo (BARROCA *et al.*, 2006). Estimar a vulnerabilidade não é uma tarefa simples, em virtude da complexidade dos diferentes fatores que a envolvem. Barroca *et al.* (2006) elencaram três aspectos principais desta complexidade:

1. A primeira diz respeito ao perigo natural por si só. Perigos naturais são fenômenos complexos e não podem ser analisados e descritos de uma só maneira, pois diferentes escalas de análise resultam em diferentes resultados. Por exemplo, no caso das inundações, altura das águas, velocidade do fluxo, presença de escombros, qualidade da água (poluentes), frequência, podem ser usados como critérios para avaliá-las. Assim, a cada evento o perigo assume características físicas, temporais e espaciais próprias. Chama-se esta complexidade de complexidade externa.
2. A segunda diz respeito ao elemento em risco, que pode ser afetado pelo perigo natural de diversas maneiras. Efeitos sobre o comércio, transportes, atividades industriais, serviços públicos, serviços de saúde, não tem o mesmo impacto em termos de vulnerabilidade. Impactos de curto prazo tendem a causar perdas de vida humana e perdas diretas as atividades econômicas. Já a longo prazo, custos de restabelecimento da normalidade e manutenção de serviços afetados serão considerados mais importantes. Esta complexidade é denominada primeira complexidade inerente.
3. A terceira refere-se à resposta do elemento em risco e suas interações com o objeto em risco. Tendo consciência do risco, a sociedade é capaz de se preparar ou reagir, adotando medidas preventivas antes e uma resposta eficaz durante o evento,

através de medidas estruturais ou não-estruturais. Esta é chamada de segunda complexidade inerente.

Um exemplo das complexidades acima descritas pode ser observado em Santa Catarina, onde, no mês de novembro de 2008, ocorreram escorregamentos e inundações em diversos municípios do Vale do Itajaí. A primeira complexidade pode ser observada na distribuição espacial dos tipos de perigos naturais. Alguns municípios tiveram como principal perigo natural causador de danos os escorregamentos, enquanto em outros foram às inundações. Além disso, em cada município, ocorreram diferentes tipos de escorregamentos, como fluxo de detritos, fluxo de lama, rotacionais e translacionais, que possuem diferentes características e causaram diferentes tipos de danos. A segunda complexidade pode ser observada nos elementos atingidos. Cada município foi atingido de maneira diferente. Em alguns faltou água, em outros as estradas foram afetadas, em outros escolas, postos de saúde, comércios foram saqueados. Alguns tiveram mais mortes que outros, mais casas destruídas, etc. Dessa maneira, dependendo do montante dos prejuízos econômicos e conseqüentemente do que foi afetado, cada município recuperará a normalidade em maior ou menor espaço de tempo. Já a terceira complexidade pode ser claramente observada no município de Blumenau. Este município é atingido por inundações desde a sua fundação². Depois das inundações de 1983 e 1984, o município se preparou para este tipo de fenômeno. Dessa maneira, neste evento de 2008, ocasionado por intensas chuvas, o município pôde reagir às inundações, não sendo este a principal causa dos danos. Contudo, o município não se preparou para os escorregamentos, através de mapeamentos, sistema de alertas e medidas estruturais, sofrendo inúmeros danos, perdas econômicas e de vidas. Assim, Blumenau tinha consciência dos danos provocados pelas inundações e estava preparado, mas não estava preparado para os escorregamentos.

Ressalta-se que estas três complexidades são interfaces do processo de análise de risco e demonstram a interação sociedade-natureza que resultam nos desastres naturais, pois a primeira está associada ao processo natural e suas características, a segunda às características do elemento exposto (sociedade) e a terceira na interação

² Informações detalhadas sobre inundações em Blumenau podem ser encontradas em Frank e Pinheiro (2003)

das duas, onde a sociedade toma conhecimento do processo natural e se prepara para sua ocorrência.

4.2.3 – Tipos de Vulnerabilidade

Conforme Hill e Cutter (2001) há muitos tipos de vulnerabilidade no que diz respeito ao estudo de perigos naturais, mas os três tipos mais importantes são: individual, social e biofísico. A vulnerabilidade individual, segundo estes dois autores, diz respeito à susceptibilidade de uma pessoa ou uma estrutura sofrer um dano potencial. As características de uma estrutura (tipo de material, projeto) ou de uma pessoa (idade, condição de saúde, fumante, estilo de vida, alimentação) são levados em conta para determinar a vulnerabilidade individual.

Em uma escala mais geral tem-se a vulnerabilidade social. Esta se baseia nas características demográficas de grupos sociais, as quais os fazem mais ou menos vulneráveis. Para se determinar esta vulnerabilidade, utilizam-se características socioeconômicas como idade, renda, gênero, educação, naturalidade (imigrantes) dos grupos sociais. A vulnerabilidade biofísica pode ser considerada como sinônimo de exposição física, ou seja, o quanto um local ou área é susceptível à ocorrência de um perigo natural.

Aysan (1993) elenca 8 tipos de vulnerabilidade:

- Econômica/material: falta de acesso a recursos;
- Social: desigualdade nos padrões sociais;
- Ecológica: falta de acesso a informação e conhecimento;
- Motivacional: falta de ação/consciência pública;
- Política: falta de políticas públicas e falta de acesso aos representantes públicos;
- Cultural: determinadas crenças e culturas;
- Física: fraquezas dos indivíduos e das construções.

De acordo com o National Research Council (2006) há dois principais tipos de vulnerabilidade: física e social. A física representa as ameaças às estruturas físicas e infra-estruturas, ao meio ambiente e aos prejuízos na economia. A social representa as ameaças ao bem-estar/normalidade da população, como mortes, feridos, necessidade de atendimento médico e os impactos no funcionamento e na normalidade do sistema social devido à ocorrência de um desastre. Alcantara-Ayala (2002) comenta que há, de fato, inúmeros tipos de vulnerabilidade, mas

que ainda assim, quase todos os tipos podem ser incluídos em quatro principais grupos: social, econômico, político e cultural.

O presente trabalho enfocará a vulnerabilidade social porque este tipo engloba características sociais que são resultados de processos políticos, culturais e econômicos. Assim, a vulnerabilidade social acaba englobando os outros tipos. A expectativa de vida, número de habitantes em uma residência, quantidade de casas em um bairro, a educação, a renda, bem como outras variáveis utilizadas para compor a vulnerabilidade social, refletem as características políticas, econômicas e culturais de um grupo social ou de uma bairro/localidade.

4.2.3.1 - Vulnerabilidade Social.

Cannon *et al.* (2003) propõem que a vulnerabilidade social é uma configuração complexa de características que incluem bem estar pessoal, meios de subsistência, resistência a eventos adversos, auto-proteção e redes políticas, sociais e institucionais. Para ISDR (2004), a vulnerabilidade social está associada ao nível de bem-estar de indivíduos, comunidades e da sociedade, o que inclui aspectos relacionados ao grau de instrução, escolaridade, segurança e políticas públicas, respeito aos direitos humanos, igualdade social, entre outros.

Conforme Hill e Cutter (2001), a vulnerabilidade social descreve as características demográficas de diferentes grupos sociais que os fazem mais ou menos susceptíveis aos impactos negativos de um evento extremo. Para estes autores a vulnerabilidade social sugere que as pessoas criam a sua própria vulnerabilidade, através de suas ações e decisões.

A capacidade de enfrentar os efeitos negativos dos desastres está ligada aos processos sociais, históricos e políticos que determinam como um grupo social é capaz de se prevenir para a ocorrência recente de desastres. Assim, ela reflete as decisões e ações passadas no tempo presente. A vulnerabilidade é construída ao longo do tempo e, conseqüentemente varia no tempo e no espaço, o que torna ainda mais difícil a tarefa de determiná-la.

4.2.3.2 - Indicadores de Vulnerabilidade Social.

Segundo Pine (2008), um indicador reflete quantitativamente um fenômeno, e pode ser utilizado para entender a capacidade de uma determinada comunidade de absorver, enfrentar ou recuperar-se de um desastre. O estudo da variação dos indicadores ao longo do tempo

auxilia a entender como as ações e decisões da comunidade modificam a condição de vulnerabilidade, podendo-se observar se a vulnerabilidade está aumentando, declinando ou permanecendo estática. Este autor cita como bons indicadores de vulnerabilidade social a porcentagem de jovens e idosos, pessoas com rendimento baixo, minorias étnicas, turistas, sem tetos, pessoas recém chegadas, entre outros e argumenta que nenhum conjunto de indicadores consegue ser totalmente inclusivo.

Birkmann (2006) e Dwyer *et al.* (2004) sugerem alguns critérios para a utilização de um indicador de vulnerabilidade como: mensurabilidade, relevância, entendível, fácil interpretação, caráter analítico e estatístico, capacidade de ser reproduzida, disponibilidade de dados, comparabilidade, validade/precisão, capacidade de ser reproduzida em outras pesquisas, estar de acordo com a problemática da pesquisa e simplicidade.

Coppola (2007) comenta que os seguintes fatores devem ser considerados na análise da vulnerabilidade social: religião, raça, gênero, saúde, taxa de analfabetismo, políticas públicas, direitos humanos, desigualdades sociais, cultura, tradição, etc.

Conforme Schmidt-Thomé e Jarva (2004), ainda não existe consenso entre os pesquisadores quais as variáveis que deveriam ser utilizadas para mensurar a vulnerabilidade social, sendo comumente utilizados o status socioeconômico, idade, raça e gênero. Na pesquisa realizada por estes autores, foram utilizadas as seguintes variáveis:

- Densidade Populacional
- PIB/Per capita
- Razão de dependência (população jovem e idosa que provavelmente precisa de ajuda durante um evento extremo, não conseguindo ajudar a si mesmo).
- Educação

ISDR (2004), com base em Dwyer *et al.* (2004), cita como exemplo os seguintes indicadores para determinar a vulnerabilidade social: idade, renda, gênero, tipo de residência, tipo de casa, condição da residência (alugada, própria, cedida), seguro da casa, seguro saúde, portadores de necessidades especiais, domínio da língua pátria.

Cutter *et al.* (2000) utilizou as seguintes variáveis para mensurar a vulnerabilidade social:

- População total;
- Número total de casas;
- Número de pessoas do sexo feminino;
- Número de pessoas não-brancas;
- Número de pessoas abaixo de 18 anos;
- Número de pessoas acima dos 65 anos;
- Valor médio da casa;
- Número de *mobile-homes*.

Diversos outros estudos consideraram as mesmas variáveis apresentadas acima, como Adger (1998), Azar e Rain (2007), Clark *et al.* (1998), Cutter *et al.* (2003), Simpson e Human (2008). A Tabela 4.3 demonstra os principais indicadores utilizados para estimar a vulnerabilidade.

Nos trabalhos aqui analisados, a renda (economia) foi considerada como um indicador da vulnerabilidade social e não econômica. Atualmente, vive-se numa sociedade capitalista onde o social e o econômico se entrelaçam e praticamente se confundem. De fato, não existiria economia sem sociedade. Desta maneira, um termo como o socioeconômico acabaria sendo redundante. Os trabalhos que tratam de vulnerabilidade econômica sempre a analisaram em termos de prejuízos econômicos mais abrangentes, como a econômica de uma cidade/país, impacto no PIB, etc. A renda, dessa maneira, mesmo sendo uma característica econômica, enquadra-se melhor numa classificação social. Além disso, através dela é que grupos/segmentos sociais são determinados, como Classe A, B, C, ou pobres e ricos. A renda reflete, assim, mais uma condição social do que uma condição econômica, estando melhor enquadrada na vulnerabilidade social.

Tabela 4.3 – Principais indicadores de vulnerabilidade
(KUMPULAINEN, 2006)

Indicador	Dp/Cs*	econ/soc**	Descrição
PIB/Per capita	Dp/Cs	econ/soc	Elevado PIB/ Per capita indica melhor qualidade das infra-estruturas e maior dano proporcional a área atingida. Por outro lado, baixo PIB/Per capita indica que o país ou comunidade não possui boa capacidade de recuperação.
Densidade Pop.	Dp	econ/soc	Indica a quantidade de pessoas expostas
Turismo	Dp/Cs	econ/soc	Turistas ou pessoas fora do seu ambiente familiar são especialmente vulneráveis por duas razões principais. Primeiro, eles normalmente não sabem dos riscos ou não estão a par da gravidade da situação. Além disso, turistas podem não entender a língua local, não estando aptos para entender os alertas. Em segundo lugar, muitas instalações turísticas estão localizadas em áreas de risco, e muitas vezes não adotam medidas estruturais necessárias para prevenção.
Educação	Cs	soc	Indica a capacidade das pessoas adquirirem e entender informações. Assume-se que pessoas de baixa instrução não têm acesso a todas as informações necessárias em caso de um evento.
Dependência	Cs	soc	Mede a proporção de grupos fortes ou fracos em uma determinada população. As pessoas idosas e crianças são fisicamente frágeis e, portanto, vulneráveis. Além disso, os idosos e as crianças podem não ser capazes de ajudar a si mesmos, mas precisam de ajuda durante um evento. Uma região com uma elevada taxa de dependência é dependente de ajuda externa.
Percepção do risco	Cs	soc	Indica como as pessoas percebem o risco, e os seus esforços em aplicar medidas mitigadoras e preventivas
Infra-estrutura médica	Cs	soc	Indica como uma região está preparada para responder a um evento (ex: numero de leitos ou de médicos por 1000 hab.)
Sistema de Alerta	Cs	soc/econ	Indica o nível de preparo de uma região

* *Potencial de Dano/ Capacidade de Suporte*

** *Econômico/Social*

4.3 - DESASTRES NATURAIS E A GEOGRAFIA

A temática dos desastres naturais sempre foi alvo das pesquisas desenvolvidas por geógrafos. Marandola Jr e Hogan (2004), analisando os perigos naturais no contexto da geografia, fazem um resgate histórico de como esta temática iniciou e perdurou dentro das ciências geográficas. Estes autores, citando White (1973), comentam que o estudo de perigos naturais na geografia iniciou quando o governo dos EUA convocou, em 1927, o Corpo de Engenheiros para resolver o problema das inundações, que atingiam tanto áreas urbanas e rurais. As principais sugestões deste corpo foram medidas estruturais, como construção de barragens, canais, sistemas de irrigação e de navegação, principalmente focadas na relação custo-benefício. Porém, estas sugestões careciam de uma visão mais ampla, visto estarem enquadradas numa postura tecnocrática intervencionista e imediatista. Neste âmbito que os geógrafos, assim como os psicólogos, técnicos agrícolas, planejadores urbanos entre outros foram chamados a participar de forma mais efetiva destas pesquisas e da investigação acerca da natureza do problema que se apresentava, sendo este o início da temática dos perigos naturais na geografia.

Reckziegel (2007) relata que, entre os estudos pioneiros desenvolvidos no Brasil por geógrafos, encontram-se os sobre movimentos de massa e enchentes no Vale do Paraíba, realizados por Hilgard O'Reilly Sternberg, nas décadas de 1940 e 1950, e os trabalhos sobre escorregamentos na Serra do Mar, realizados por Olga Cruz na década de 1970. Ainda segundo o mesmo autor, no final da década de 1980 e no decorrer da década de 1990, os estudos sobre áreas de risco se intensificaram no Brasil, com inúmeros trabalhos de pesquisadores de diversas áreas, como os trabalhos do Instituto Tecnológico do Estado de São Paulo, da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, do Instituto Geológico e da Fundação Instituto de Geotécnica e também da Universidade Federal de Santa Catarina

Ojeda (1997) comenta que a temática dos desastres naturais, especialmente as inundações, é um tema geográfico por excelência, pois trata da interface entre o ser humano e a natureza, entre o meio físico e o meio cultural. O mesmo autor ainda comenta que o fenômeno natural “inundação” por si só já atrai a atenção das ciências geográficas, mas que devido à repercussão de suas consequências no território e na paisagem é que esta temática deveria atrair ainda mais a atenção das

ciências geográficas, pois não há “risco” sem a presença do elemento homem.

O geógrafo possui em sua formação a capacidade de analisar tanto o meio físico e social. Por outro lado, ele não possui a capacidade completa de analisar estes dois meios, devido a própria impossibilidade do ser humano de absorver todos os tipos de conhecimento. Assim, ao estudar áreas sujeitas às inundações ou a outros tipos de eventos extremos, a geografia deve ou deveria agregar outros ramos do conhecimento e conseqüentemente outros pesquisadores. Dentro de sua formação, um geofísico tem maiores condições de analisar um terremoto ou um tsunami do que um geógrafo. Porém, o geógrafo, somando o seu conhecimento sobre a sociedade às análises geofísicas, tem a capacidade de prever os impactos deste tsunami ou terremoto na sociedade. Contudo, a geografia, especialmente a brasileira, tem se esquecido da sua capacidade de trabalhar com desastres, visto que a maior parte dos trabalhos têm sido realizados em áreas tecnológicas e/ou exatas. Assim, cabe ao geógrafo resgatar o pioneirismo de Gilbert White para retomar os estudos de desastres no Brasil, e, no caso do presente trabalho, das inundações.

Especificamente no estudo das inundações, geógrafos têm abordado principalmente a análise de risco e vulnerabilidade. Andrade e Scarpati (2008) analisaram as causas das ocorrências das inundações em *Gran La Plata*, província de Buenos Aires, Argentina. Eles concluíram que a principal causa da ocorrência das inundações são fatores climáticos e topográficos, ou seja, a região é naturalmente susceptível à sua ocorrência. Contudo, ficou também demonstrado que tem havido um aumento na ocorrência de inundações como desastres, parte em virtude de alterações no clima local, e parte devido ao crescimento urbano e alterações no uso do solo, que alterou a capacidade de infiltração, aumentando o escoamento superficial. Assim, os autores sugerem que alterações no uso do solo, bem como o crescimento populacional devem ser considerados na elaboração de políticas públicas e no gerenciamento de eventos hidrológicos extremos.

Utilizando técnicas de sensoriamento remoto e SIG, Dewan *et al.* (2006) elaboraram um mapa de perigo de inundação de um evento ocorrido em Bangladesh, em 1998. Analisando o uso do solo, aspectos topográficos e geomorfológicos, os autores delimitaram as áreas afetadas pela inundação, determinando as alturas das águas bem como a frequência. Os autores também demonstraram que a maior parte de

Dhaka (área de estudo) encontra-se em áreas de alta susceptibilidade, sendo que, para estas mesmas áreas, há a previsão de tornarem-se intensamente urbanizadas até 2010. Dessa maneira, através deste mapeamento, os autores demonstraram que no processo de planejamento urbano deve-se levar em conta medidas preventivas e mitigadoras contras as inundações.

Azar e Rain (2007) aplicaram o índice de vulnerabilidade social desenvolvido por Cutter *et al.* (2003) para estimar a vulnerabilidade no município de San Juan, Porto Rico, tendo como objeto de estudo áreas afetadas por desastres hidrológicos, especialmente as inundações. Os autores demonstraram que, uma das principais limitações deste tipo de índice é a quantidade de dados que eles requerem, bem como a “confiabilidade dos dados”, visto que, em muitas localidades, a população mais vulnerável é justamente aquela que não está no banco de dados do censo, por exemplo. Os autores ainda demonstraram que através destes índices de vulnerabilidade, políticas públicas podem ser formuladas, pois levam em consideração muitos aspectos sociais que necessitam de intervenção pública, como educação, renda, acesso a serviços públicos, etc.

Segundo Joly *et al.* (1997), desde a década de 70, geógrafos têm aumentado significativamente seu envolvimento na avaliação de perigos naturais e no estudo de danos naturais ou induzidos pela ação antrópica ocorridos em virtude da ocupação da planície de inundação. Segundo estes autores, a principal contribuições dos geógrafos tem sido na delimitação de áreas susceptíveis, na proposição de medidas mitigadoras, tendo considerado a gênese e os mecanismos da perspectiva da bacia hidrográfica como unidade de análise, bem como a sociedades antigas adaptaram-se aos perigos naturais. Neste mesmo contexto, trabalhos como os de Montz e Gruntfest (1986), Penning-Rowell e Parker (1987), Saurí'-Pujol *et al.* (2001), Brown e Damery (2002), Alkema e Middelkoop (2005), demonstraram a importância de integrar aspectos físicos e sociais no estudo das inundações, relacionados principalmente à expansão urbana sobre a planície de inundação.

4.4 - MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO

Segundo Enomoto (2004), o mapeamento de áreas de risco de inundação é uma ferramenta auxiliar muito poderosa no controle e prevenção de inundações. Friesecke (2004) comenta que estes mapas

deveriam ser a base para todos os programas de redução de danos, pois os mapas de risco freqüentemente têm uma importância legal em termos de zoneamento e outras medidas não-estruturais. Para Andjelkovic (2001), um dos pontos positivos dos mapas de risco é que, tendo por base os mesmos, pode-se iniciar a construção de estruturas que previnam os danos, alertar atuais e futuros proprietários de terras sujeitas às inundações, bem como auxiliar as autoridades e tomadores de decisões a desenvolver novas idéias de desenvolvimento sustentável para estas áreas. Conforme Plate (2002), uma das etapas fundamentais para o gerenciamento de desastres é a análise do risco, que consiste em determinar as características do perigo, analisar as vulnerabilidades e por sua vez, determinar o risco.

Marcelino *et al.* (2006) comentam que um dos instrumentos de análise de risco mais eficientes é o mapeamento de áreas de risco. A partir deste mapa é possível elaborar medidas preventivas, planificar as situações de emergência e estabelecer ações conjuntas entre a comunidade e o poder público, com o intuito de promover a defesa permanente contra os desastres naturais. Segundo Yalcin e Akyurek (2004), alguns problemas relacionados a inundações podem ser solucionados através de estudos planejados e projetos detalhados sobre áreas propensas a inundações. Shidawara (1999) argumenta que os mapas de risco possuem um grande papel no sistema de prevenção de inundação, pois em municípios pequenos e com poucos recursos econômicos torna-se muito difícil a implantação de sistemas mais sofisticados, como monitoramento e sistemas de alerta. Para Kobiyama *et al.* (2006), os mapas de risco visam suprir umas das maiores deficiências relacionadas aos desastres naturais no Brasil, que é a ausência de sistemas de alertas, uma das ferramentas fundamentais para a prevenção de desastres naturais, especialmente os súbitos.

Na Figura 4.2 observam-se os diversos planos de informações bem como os parâmetros utilizados na elaboração de um mapa de risco. Salienta-se que para cada caso estudado, diferentes parâmetros podem ser acrescentados ou retirados. Conforme Kobiyama *et al.* (2006) a classificação de intensidade de risco, elaborada num momento, não necessariamente, servirá para outro momento, pois tanto as características do perigo bem como a vulnerabilidade podem ser diferentes para cada ocorrência de um desastre, variando temporal e espacialmente.

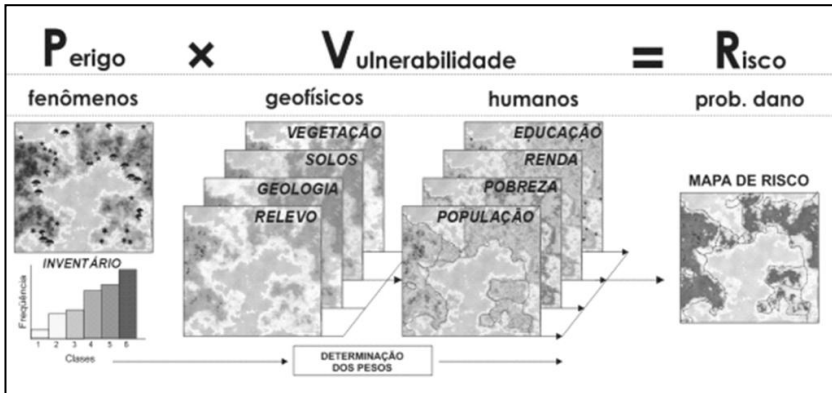


Figura 4.2 - Parâmetros que envolvem uma análise de risco.

Fonte: Marcelino (2007).

Para Koeler *et al.* (2004), o mapa de risco, que muitas vezes é também chamado de mapa de perigo (*hazard map*), é um dos resultados esperados na análise de risco, e estes mapas podem ser divididos em três categorias:

- Mapas de perigo: são os mapas que dão informações qualitativas e quantitativas sobre os perigos naturais e seu nível de impacto ou máximo nível de impacto;
- Mapas de zonas de risco: provem informações da probabilidade de ocorrência do fenômeno. São geralmente o resultado da análise do perigo;
- Mapas de risco: os quais também contêm informações quantitativas sobre o risco e os possíveis impactos sociais, ambientais, estruturais.

Esta classificação demonstra o que comumente ocorre no caso de mapeamento de áreas de risco. Mapas de perigo também contêm informações sobre a vulnerabilidade, podendo ser considerados mapas de risco. Por outro lado, mapas de risco demonstram apenas a área de abrangência do fenômeno, sendo considerados apenas mapas de perigo.

4.5 - MODELOS HIDROLÓGICOS

Segundo Tucci (1998), “modelo é a representação de algum objeto ou sistema, numa linguagem ou forma de fácil acesso e uso, com o objetivo de entendê-lo e buscar suas respostas para diferentes entradas”. Conforme Christofolletti (1999), modelo pode ser compreendido como sendo “qualquer representação simplificada da realidade ou de um aspecto do mundo real que surja como de interesse ao pesquisador, que possibilite reconstruir a realidade, prever um comportamento, uma transformação ou uma evolução”. Segundo Rennó e Soares (2001), um modelo pode ser considerado como uma representação simplificada da realidade, auxiliando no entendimento dos processos que envolvem esta realidade. Os modelos são cada vez mais utilizados em estudos ambientais, pois ajudam a entender o impacto das mudanças no uso e cobertura da terra e prever alterações futuras nos ecossistemas.

Segundo Oliveira (2003), o objetivo de um modelo hidrológico é determinar com eficiência e precisão os componentes do ciclo hidrológico em uma bacia hidrográfica, e estimar eficientemente o comportamento da água e a magnitude das variáveis envolvidas nos fenômenos menos frequentes. A importância e uso dos modelos hidrológicos são primordiais para apreciar, simular e prever os danos causados pelas inundações, solucionar problemas práticos de levantamentos, planejar, projetar e administrar a tomada de decisão e a gestão dos recursos hídricos

Conforme Tucci (1998), na simulação existe em geral três fases que são classificadas como: i) estimativa ou ajuste; ii) verificação; e iii) previsão. A estimativa dos parâmetros é a fase da simulação onde os parâmetros devem ser determinados. A verificação é a simulação do modelo com os parâmetros estimados onde se verifica a validade do ajuste realizado. A previsão é a simulação do sistema pelo modelo com parâmetros ajustados para quantificação de suas respostas a diferentes entradas.

Para Tucci (1998), os modelos hidrológicos podem ser classificados segundo vários critérios encontrados na literatura, sendo:

- *Contínuo* ou *discreto*: um sistema é dito contínuo quando os fenômenos são contínuos no tempo, e discreto quando as mudanças de estado se dão em intervalos discretos. A maioria dos sistemas hidrológicos é contínua e são representados por modelos discretos.

- *Concentrado* ou *distribuído*: um modelo é concentrado quando não leva em conta a variabilidade espacial. Em geral, os modelos concentrados utilizam somente o tempo como variável independente. Um modelo é dito distribuído quando as variáveis e parâmetros do modelo dependem do espaço e/ou do tempo. Somente o modelo distribuído permite estudar a variabilidade do comportamento físico de diferentes partes do sistema.

- *Estocástico* ou *determinístico*: esta é uma das principais classificações dentro da simulação hidrológica. Segundo Chow (1964), se a chance de ocorrência das variáveis é levada em conta, e o conceito de probabilidade é introduzido na formulação do modelo, o processo e o modelo são ditos estocásticos. De outro lado, se a chance de ocorrência das variáveis envolvidas no processo é ignorada, e o modelo segue uma lei definida que não a lei das probabilidades, o modelo e os processos são ditos determinísticos.

- *Conceitual* ou *empírico*: um modelo é dito conceitual quando as funções utilizadas na sua elaboração levam em consideração os processos físicos. Esta definição é estabelecida para diferenciar os modelos que consideram os processos físicos, dos modelos ditos “caixa-preta”. Os modelos do tipo “caixa-preta” ou empíricos são aqueles em que se ajustam os valores calculados aos dados observados, através de funções que não têm nenhuma relação com os processos físicos envolvidos.

O modelo hidrológico é uma das ferramentas que a ciência desenvolveu para melhor entender e representar o comportamento da bacia hidrográfica e prever condições diferentes das observadas (TUCCI, 1998). Kobiyama e Manfroï (1999) ressaltam que o sucesso do modelo, da modelagem e da simulação depende da qualidade do monitoramento e que não há nenhum bom modelo sem o uso de dados obtidos do fenômeno monitorado. Assim a modelagem e o monitoramento não se confrontam, passando a ser métodos científicos mutuamente complementares, efetuados sempre paralelamente.

4.6 - MODELAGEM HIDROLÓGICA APLICADA AO MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO

Conforme Alkema (2007), avaliações de risco a inundação requerem conhecimento sobre processos hidráulicos e hidrológicos, que são a fonte do mapeamento de perigo e posterior avaliação das

conseqüências socioeconômicas, ao combinar o perigo com a vulnerabilidade.

Um modelo hidráulico pode ser utilizado tanto para simular eventos futuros, no caso de avaliação de risco, bem como reconstituir eventos passados. No caso de reconstituição de eventos passados, além de dados de precipitação e vazão datados da ocorrência de eventos, também são realizados reconhecimentos de campo de feições geomorfológicas e ainda entrevistas com moradores. Conforme Castilho *et al.* (2005), são necessários dois grupos de atividades para concretização do mapeamento das planícies de inundação de uma área urbana. O primeiro grupo se refere às atividades necessárias para a modelagem hidráulica do trecho de interesse com o objetivo de determinar os perfis da linha d'água associados às vazões com diferentes probabilidades de excedência. As probabilidades são calculadas a partir de uma análise de frequência de vazões observadas ou simuladas. O outro conjunto de atividades está relacionado à delimitação das áreas que serão inundadas por cada um dos perfis de linha d'água estimados.

Lastra *et al.* (2007), elaboraram um mapa de perigo de inundações para o Norte da Península Ibérica, utilizando para isto três métodos. O primeiro foi a elaboração de mapas de perigo tendo por base o reconhecimento em campo de feições geomorfológicas ocasionadas pelas inundações. Os autores cometam que este método só produz resultados confiáveis quando há muitas evidências em campo, principalmente de eventos recentes. O segundo método teve por base dados históricos em arquivos, jornais e entrevistas com os moradores. E o terceiro método foi a aplicação dos modelos hidráulico-hidrológicos HEC-HMS e HEC-RAS. Apesar das limitações de cada método, os autores sugerem, dependendo da quantidade de dados disponíveis, uma combinação dos três métodos para obter um resultado mais confiável.

Em relação ao mapeamento de risco ou de perigo a inundação, diversos são os modelos hidráulico-hidrológicos utilizados para este fim, principalmente os que são utilizados em conjunto com Sistemas de Informações Geográficas (SIG), como o TUFLOW (ZERGER e WEALANDS, 2004), DUFLOW (BADILLA, 2008), SOBEK (RAHMAN, 2006), LISFLOOD-FP (PAPPENBERGER *et al.*, 2007), HEC-RAS, MIKE11, MIKE-SHE, WinTR-55, WinTR-20, TOPMODEL, JFLOW. CASCD2SD, ISIS, entre outros (SCOTTISH EXECUTIVE ENVIRONMENT GROUP, 2004; ALKEMA, 2007; RUGAI, 2008). Cada um destes modelos possui suas particularidades,

vantagens e desvantagens. Para a execução do presente projeto foi adotado o HEC-RAS, por ser gratuito, de interface amigável, fácil interação com o ArcGIS, permitindo a rápida espacialização dos resultados. Na Tabela 4.4 são apresentados alguns estudos que resultaram em mapeamento de áreas de inundação e que utilizaram dentro da sua metodologia modelagem hidráulica-hidroológica, principalmente aplicando o HEC-RAS.

Tabela 4.4 – Alguns métodos e resultados de mapeamentos de áreas inundáveis.

Autor	Método (modelo)	Dados	Resultado
Kresh <i>et al.</i> (2002)	HEC-RAS e HEC-GeoRAS	MDT, Vazão, secções transversais, rugosidade	Mapa Inundação para tempo de retorno de 50 anos
Mastin <i>et al.</i> (2002)	HEC-RAS e HEC-GeoRAS	MDT, Vazão, secções transversais, rugosidade, dados de ressaca	Mapa Inundação Costeira para tempo de retorno de 50 anos
Pistocchi <i>et al.</i> (2002)	HEC-RAS e HEC-HMS	Precipitação, Temp., vazão, secção transversal, MDT, nível do rio	Avaliação de risco hidrológico, simulação de cenários.
Mastin (2002)	Modificação do HEC-RAS	Picos de vazão anual, precipitação e MDT	Mapa de inundação e modelo hidrológico
Badilla Coto (2002)	Mapeamento geomorfológico, vulnerabilidade, avaliação de danos.	MDT, LandSat, Mapa cadastral, aerofotos, e dados meteorológicos	Mapa de perigo, análise de vulnerabilidade, avaliação de danos,
Snead (2000)	MIKE11, HEC-RAS, HEC-HMS, HEC-GeoRas, SIG	Secções transversais (canal e planície), rugosidade (canal e planície), vazão, MDT	Mapa de inundação e comparação entre modelos
Andrysiak (2000)	HEC-HMS, HEC-RAS, SIG	Geometria do canal, vazão, sedimentos, precipitação	Picos de vazão de delimitação da planície de inundação
Islam (2000)	Frequência de inundação e altura da inundação	Dados históricos e mapa: geológico, cursos d'água, demográficos, Imagens	Mapa de perigo e planos de urbanização
Choundhury (1998)	Interpretação visual e SIG	Imagens (SPOT e IRS-IC) fotos aéreas e topografia	Mapa de inundação para tempo de retorno de 50 e 100 anos.

Fonte: Adaptado de Marfai (2003)

4.7 - HEC-RAS

Segundo Oliveira (2005), Hydrologic Engineering Center (HEC) do U.S. Corps of Engineers é um dos centros de excelência na elaboração de programas e modelos aplicados à Hidráulica e Hidrologia. No campo da Hidráulica Fluvial destaca-se pela sua aceitação, confiabilidade, facilidade de acesso e utilização. O *Hydrologic*

Engineering Centers River Analysis System - HEC-RAS é um modelo unidimensional, de fundo fixo, capaz de efetuar os cálculos dos perfis de superfície da água em escoamento permanente e não permanente, em canais com superfície livre. Esses perfis podem ser calculados em regimes subcríticos – ou tranquilo, supercrítico – ou rápido e misto, onde poderão ocorrer mudanças dos regime supercrítico para subcrítico ou de subcrítico para supercrítico. O procedimento de cálculo baseia-se na solução da equação de energia unidimensional. O modelo também utiliza as equações de momento em situações onde o perfil da superfície de água varia rapidamente. Essas situações incluem, dentre outras, os ressaltos hidráulicos, as pontes e as confluências de rios. Permite, ainda, a avaliação do efeito de estruturas hidráulicas – pontes, bueiros, galerias, etc., na alteração das planícies de inundação, bem como mudanças nos perfis de superfície da água devido à construção de canais e diques (HEC, 2008a). Conforme Hatipoğlu *et al.* (2007), os principais dados de entrada são: a geometria do canal, condições de contorno, contribuição do fluxo lateral e valores para o coeficiente “*n*” de Manning.

Segundo HEC (2008a), a utilização do HEC-RAS está condicionada as seguintes premissas:

- Escoamento é permanente. Não há condições dependentes do tempo na equação de energia;
- Escoamento é gradualmente variado. A equação da energia (Bernoulli) está baseada na premissa da distribuição uniforme de pressões hidrostáticas em cada seção transversal. Nos locais onde o escoamento é rapidamente variado (estruturas hidráulicas como pontes, bueiros e barragens), o programa utiliza a equação de momento ou outras empíricas;
- Escoamento é unidimensional. A energia cinética é a mesma para todos os pontos numa seção transversal. Os componentes da velocidade estão na mesma direção do fluxo.

O HEC-RAS acopla-se ao ArcGis através da extensão HEC-GeoRAS (HEC,2008b) que permite a retirada de informações geométricas necessárias à modelagem hidráulica a partir de um modelo digital de terreno (MDT). Um arquivo com denominação *RAS GIS Import File* é gerado, contendo informações do rio principal, trechos contribuintes, margens, geometria das seções transversais e coeficientes de rugosidade relacionados a estes elementos. Este arquivo é utilizado como entrada de dados no HEC-RAS e, após o processamento do

modelo hidráulico ser realizado, os resultados podem ser exportados de volta para o ArcGis e processados pelo HEC-GeoRAS, para análises espaciais.

A utilização do HEC-RAS em conjunto com SIGs tem sido aplicada por diversos autores para estudo de inundação, como Calçada *et al.* (2004) que realizaram análise de cheias e delimitação de zonas inundáveis em Timor-Leste. Hammouri e El-Naqa (2007), que fizeram simulação e análise hidrológica (chuva-vazão) de bacias sem estações de monitoramento na Jordânia. Hatipoğlu *et al.* (2007) realizaram o delineamento semi-automático de planícies de inundação na Turquia e a simulação do fluxo sobre a planície através do HEC-RAS e HEC-GeoRAS. Tavares e Castro (2005), Marfai (2003), e Ackerman (2000) são outros exemplos de trabalhos onde foi utilizada modelagem hidráulica (HEC-RAS) para estudo de inundações.

O HEC-RAS se caracteriza como um modelo hidráulico, pois simula a propagação da onda de cheia ao longo de um canal. Observando, contudo, os critérios de classificação dos modelos hidrológicos apresentados anteriormente e enquadrando o HEC-RAS dentro desta classificação, pode-se dizer que este modelo pode ser considerado discreto, distribuído, determinístico e empírico.

4.8 – INUNDAÇÕES EM RIO NEGRINHO

Segundo Neppel Dalagnol (1999), os registros de ocorrências de inundações datam desde 1891 e as que deixaram mais prejuízo foram as de 1983 e 1992. Ainda segundo o autor, nestes dois eventos, a cota do rio Negrinho atingiu 9,30 m acima do seu nível normal. Segundo Schoeffel (2004), em Rio Negrinho foram registradas 12 inundações severas, sendo 7 delas associadas a eventos de El Niño. Neppel Dalagnol (1999) e Schoeffel (2004) fizeram estudos preliminares sobre inundações em Rio Negrinho. Segundo estes dois autores, a primeira inundação registrada ocorreu em julho de 1891, quando choveu durante 15 dias e os rios alcançaram alturas nunca verificadas; o rio Negrinho atingiu 7,75 metros acima do seu nível normal. Seu nível serviu de base para a construção da estrada de ferro anos após sua ocorrência. Nos anos de 1911 e 1913 as inundações atingiram novamente o município de Rio Negrinho. No mês de janeiro de 1926, o rio subiu novamente, destruindo uma ponte, inundando ruas e casas de comércio, assim como nos anos de 1937 e 1946. Entre 1946 e 1983 ocorreram inundações ordinárias, que não trouxeram prejuízos

significativos a população. Em Julho de 1983 (Figura 4.3) ocorre a maior inundação registrada até aquele momento, associada ao El Niño, que atingiu inúmeros municípios em Santa Catarina, assim como as inundações de agosto 1984, que ocorreram também em Rio Negrinho. Em maio de 1992, outra inundação, considerada a mais severa, trouxe danos e prejuízos ao município. Em julho de 1995, janeiro de 1997 e 1998 ocorreram novamente inundações ordinárias, sem maiores prejuízos para a sociedade.

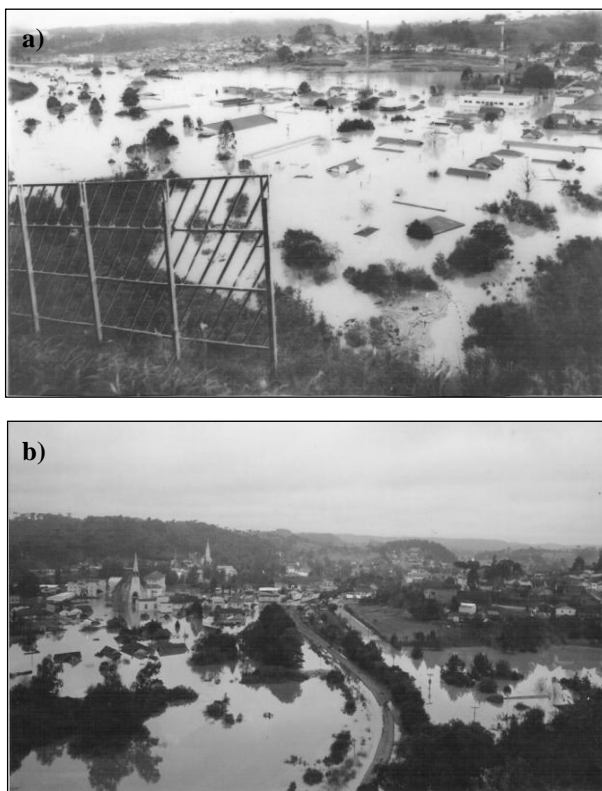


Figura 4.3 – Inundações mais severas de Rio Negrinho: a) 1983 e b) 1992. Fonte: Schoeffel (2004)

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 – ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO DOS EVENTOS DE INUNDAÇÃO

Foram analisados os dados de chuva dos anos em que ocorreram inundações severas, conforme apresentado no item 4.8. Utilizaram-se os dados de chuva da estação Corredeiras, operada pela SUDERHSA, código 02649055, localizada no município de Rio Negrinho, nas coordenadas 26°25'10"S e 49°34'23"W. Esta estação possui séries anuais completas entre 1977 e 2006. Para os anos de 2007 e 2008 utilizou-se a estação da EPAGRI, localizada também em Rio Negrinho, nas coordenadas 26°24'85"S e 49°58'06"W.

A partir destes dados, foram calculados os acumulados mensais dos anos em que ocorreram inundações e, posteriormente apresentados os dados diários do mês de ocorrência do evento. Para a análise do evento de setembro de 2009, foram utilizados os dados da estação meteorológica instalada e operada pelo Laboratório de Hidrologia da UFSC, localizada nas dependências do Sistema Autônomo Municipal de Água e Esgoto - SAMAE.

5.2 - VULNERABILIDADE

Como demonstrado no item 3, o conceito de vulnerabilidade e os fatores que a compõem ainda não são precisos. Contudo, estimar a vulnerabilidade é imprescindível para que se possa realizar a análise e mapeamento de risco. Assim, utilizou-se indicadores para mensurar a vulnerabilidade, com base nas características socioeconômicas coletadas durante o Censo de 2000 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

O IBGE utiliza como unidade de análise o setor censitário, que é a menor unidade territorial, com limites físicos identificáveis em campo, com dimensão adequada à operação de pesquisas. A área urbana do município de Rio Negrinho foi dividida em 35 setores (Figura 5.1), os quais englobam um ou mais bairros (Tabela 5.1). O IBGE considera como área urbana as delimitações propostas pelo plano diretor e pelo código de postura do município, assim a área urbana do município e a do IBGE devem ser coincidentes. Utilizaram-se os setores censitários

para análise do município em virtude dos dados tabulados e disponibilizados pelo IBGE estarem agrupados por setor.

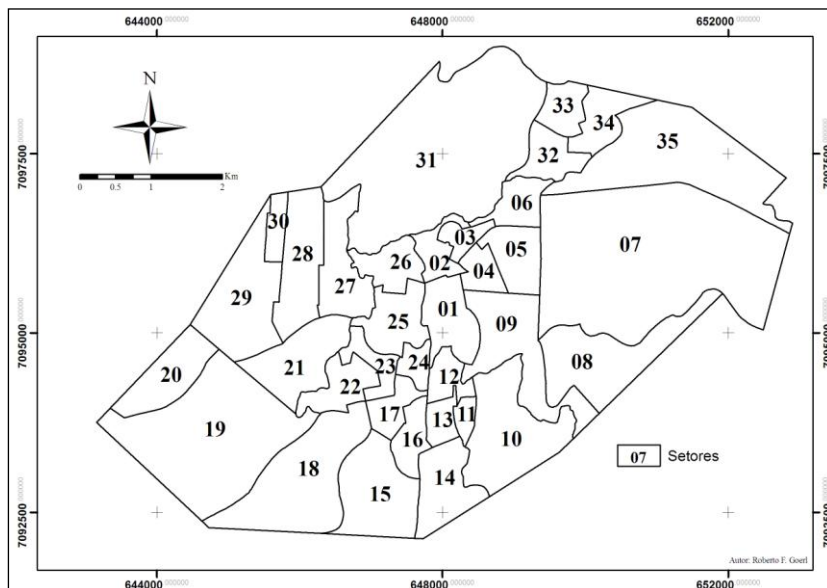


Figura 5.1 – Setores censitários da área urbana de Rio Negrinho – SC

Tabela 5.1 – Código dos setores e seus respectivos bairros em 2000.

nº	Código do Setor	Bairro	Área	nº	Código do Setor	Bairro	Área
1	421500005000001	Centro	0,72	19	421500005000019	São Pedro	3,40
2	421500005000002	Centro	0,35	20	421500005000020	São Pedro	0,83
3	421500005000003	Vila Nova	0,23	21	421500005000021	Quitandinha	1,05
4	421500005000004	Vila Nova	0,31	22	421500005000022	Ceramarte	0,54
5	421500005000005	Vila Nova	0,61	23	421500005000023	Ceramarte	0,34
6	421500005000006	Vila Nova	0,45	24	421500005000024	Ceramarte	0,23
7	421500005000007	Industrial Sul	5,93	25	421500005000025	Bela Vista	0,70
8	421500005000008	Pinheirinho	1,55	26	421500005000026	Bela Vista	0,51
9	421500005000009	Alegre	1,43	27	421500005000027	Vista Alegre	0,89
10	421500005000010	Alegre	1,64	28	421500005000028	Vista Alegre	1,09
11	421500005000011	Cruzeiro	0,15	29	421500005000029	Vista Alegre	1,48
12	421500005000012	Cruzeiro	0,33	30	421500005000030	Vista Alegre	0,24
13	421500005000013	Cruzeiro	0,25	31	421500005000031	Campo Lençol	5,02
14	421500005000014	Cruzeiro	0,84	32	421500005000032	Industrial Norte	0,49
15	421500005000015	Barro Preto	1,28	33	421500005000033	Industrial Norte	0,41
16	421500005000016	São Rafael	0,39	34	421500005000034	Industrial Norte	0,55
17	421500005000017	São Rafael	0,36	35	421500005000035	Industrial Norte	2,64
18	421500005000018	São Rafael	2,04			Total	39,27

Em 2007 foi realizada pelo IBGE a contagem da população nos municípios brasileiros com até 170 mil habitantes, incluindo assim Rio Negrinho. Apesar destes dados serem mais atualizados do que os de 2000, os mesmos apresentam apenas o número de moradores nos setores censitários. Para estimar a vulnerabilidade, foram utilizadas outras variáveis, sociais (educação, renda) e econômicas. Assim, apesar de estarem relativamente desatualizado, os dados de 2000 são mais completos e representativos.

Foram então selecionadas 8 variáveis coletadas no censo para construir um índice de vulnerabilidade, as quais foram agrupadas em 6 variáveis (Tabela 5.2).

Tabela 5.2 – Variáveis censitárias e variáveis utilizadas para mensurar a vulnerabilidade

Variáveis Censitárias	Variáveis de Vulnerabilidade
Número de moradores no setor	Número de moradores no setor
Média de moradores por domicílio	Média de moradores por domicílio
Densidade Demográfica	Densidade Demográfica
% da população acima de 65 anos	Soma da porcentagem da população acima de 65 e abaixo de 12 anos
% da população abaixo de 12 anos	
% de pessoas analfabetas acima de 12 anos	% de pessoas analfabetas acima de 12 anos
% de Responsáveis sem rendimento	Soma da porcentagem dos responsáveis sem rendimento e com rendimento de até 1 Salário Mínimo
% de responsável com rendimento até 1 Salário Mínimo	

O IBGE utiliza-se de uma data de referência para determinar a quantidade de moradores que residiam no domicílio/setor, que foi dia 1º de agosto de 2000. Além disso, observam-se alguns critérios para a coleta de dados:

Pessoa alfabetizada: pessoa capaz de ler e escrever um bilhete simples no idioma que conhecia. Aquela que aprendeu a ler e escrever, mas esqueceu e a que apenas assinava o próprio nome foi considerada analfabeta.

Pessoa responsável: homem ou a mulher responsável pelo domicílio particular permanente ou que assim era considerado(a) pelos demais moradores.

Rendimento: a soma do rendimento nominal mensal de trabalho com o proveniente de outras fontes.

No quesito dependência adotou-se como limite 12 e 65 anos. 12 anos porque o Estatuto da Criança e do Adolescente considera as pessoas abaixo dessa idade como crianças, sendo totalmente dependentes perante a lei e perante a sociedade de seus pais ou responsáveis. Considerou-se 65 anos porque segundo a Organização Mundial de Saúde a partir dessa idade as pessoas são consideradas idosas.

Com base nestas 6 variáveis construiu-se o Índice de Vulnerabilidade (IV):

$$IV = \frac{Dd + Nm + Mm + TxD + E + R}{IDHM} \quad (3)$$

onde, Dd é a densidade demográfica, Nm é o número de moradores no setor, Mm é média de moradores por residência, TxD é a taxa de dependência (idosos e jovens), E é a educação (analfabetos acima de 12 anos), R é a renda (responsável sem rendimento ou com até 1 salário mínimo) e IDH-M é o Índice de Desenvolvimento Humano do Município. O IDH-M é obtido pela média aritmética de três sub-índices, referentes às dimensões Longevidade (IDH- Longevidade), Educação (IDH-Educação) e Renda (IDH-Renda). Ressalta-se que IDHM é um valor único para todo o município.

Assume-se neste presente trabalho, com base nos conceitos de vulnerabilidade, que a mesma é inversamente proporcional a capacidade de suporte/resposta ou de preparo do município. O IDH-M de Rio Negrinho foi utilizado como indicador desta capacidade. O IDH-M é estimado pela ONU através do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD, e é dividido em três classes: de 0 a 0,499

(baixo desenvolvimento), 0,5 a 0,799 (médio desenvolvimento) e 0,8 a 1 (alto desenvolvimento). Rio Negrinho possui o IDH-M 0,789³, demonstrando que apesar de possuir médio desenvolvimento, está mais próximo do alto do que do baixo desenvolvimento.

A escolha do IDH-M de Rio Negrinho como capacidade de suporte/resposta para todos os setores se deu pelos seguintes fatores. Quando ocorre um desastre, apesar de ele possuir limites espaciais e temporais, toda a normalidade do município é afetada. Aulas podem ser suspensas, estradas fechadas, falta de água, luz, etc. Assim, a primeira resposta ao desastre se baseia na capacidade do município, que no presente trabalho se traduziu no IDH-M.

Para uniformizar as unidades, todas as variáveis foram escalonadas de 0 a 1, sendo 0 o valor mínimo de cada variável e 1 o valor máximo:

$$V_{\text{escalonado}} = \frac{V_{\text{observado}} - V_{\text{mínimo}}}{V_{\text{máximo}} - V_{\text{mínimo}}} \quad (4)$$

Depois de escalonado, o Índice de Vulnerabilidade foi agrupado em quatro classes, baixa, média e alta e muito alta, definidas pelo desvio quartílico, que segundo Ramos e Sanchez (2000), divide a série de dados em quatro grupos com igual número de ocorrências, cada um compreendendo 25% do total de valores. Desta forma, o fatiamento é definido quantitativamente, excluindo a subjetividade no processo de definição do limiar de corte. Esta etapa de escalonamento e classificação pelo desvio quartílico foi baseada em Marcelino *et al.* (2006).

5.3 - ÁREAS INUNDÁVEIS

Para determinar as áreas inundáveis foram utilizados dois métodos diferentes. O primeiro através da aplicação do HEC-RAS e a segunda através das áreas que o Plano Diretor de Rio Negrinho determina como inundáveis. A seguir, estes dois métodos serão explanados.

5.3.1 - HEC-RAS

Para gerar as manchas de inundação para diferentes vazões, utilizou-se o Modelo HEC-RAS (Figura 5.2). Como comentado

³ <http://www.pnud.org.br/atlas/tabelas/index.php>

anteriormente, este modelo requer diversos dados espaciais para simular eventos de inundação. Para facilitar a entrada destes dados, utiliza-se a extensão HEC-GeoRAS. Utilizando o Arcgis para manipular os dados espaciais através do HEC-GeoRAS, foram extraídos os seguintes *layers*: o trecho do rio Negrinho analisado no presente trabalho, as margens direita e esquerda, os fluxos preferenciais sobre a planície de inundação, o centro do canal, construções que podem bloquear a passagem das águas e as seções transversais perpendiculares ao trecho do rio. Outras estruturas podem também ser digitalizadas e posteriormente editadas dentro do HEC-RAS, como pontes, diques marginais, obras contra inundações, entre outros. Dentro dos *layers* citados, são obrigatórios o canal principal, as margens, as seções transversais e o fluxo preferencial.

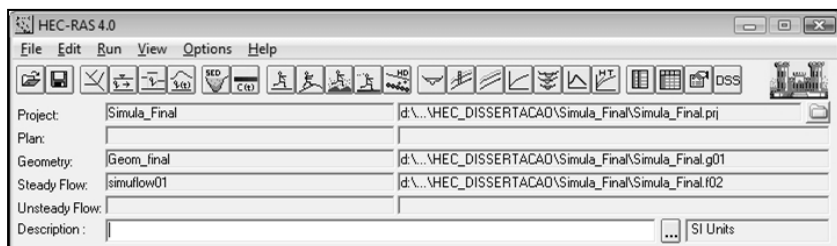


Figura 5.2 – Interface do HEC-RAS

As características topográficas destas feições são extraídas automaticamente pelo HEC-GeoRas utilizando o MDT. A Figura 5.3 apresenta um fluxograma simplificado dos dados de entrada e saída. Para gerar o MDT utilizou-se o levantamento topográfico contratado pela prefeitura de Rio Negrinho para a área urbana, com curvas de nível de 1 m.

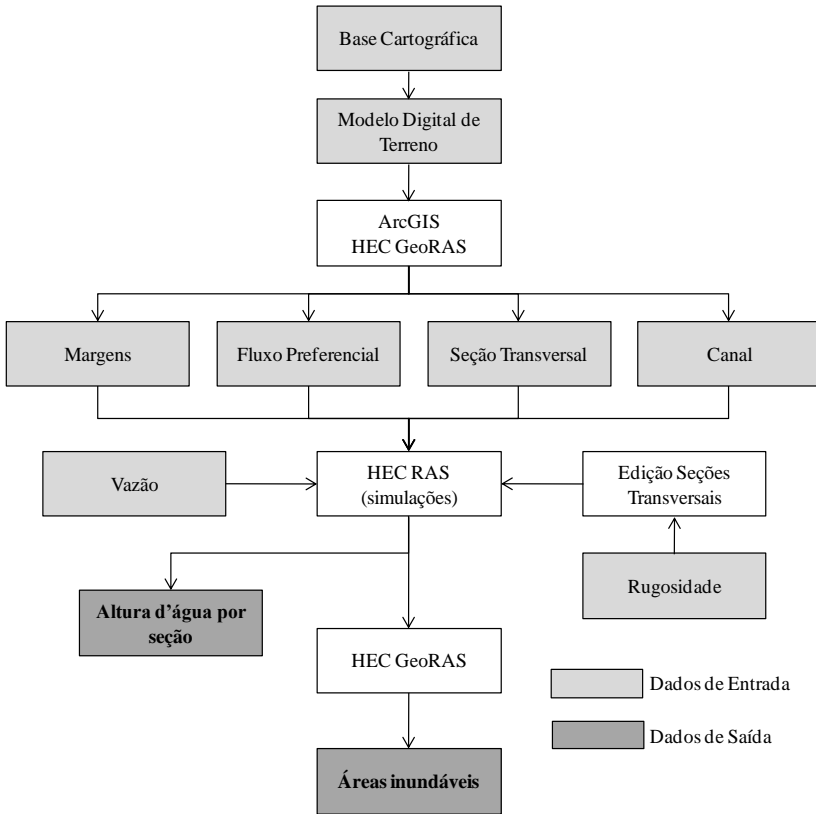


Figura 5.3 – Fluxograma dos dados de entrada e saída do modelo HEC-RAS

Depois de extraído os *layers*, os mesmos foram importados para o HEC-RAS e utilizados nas simulações. No HEC-RAS, o primeiro passo é editar a geometria, atribuindo os valores de rugosidade (Tabela 5.3) para cada seção transversal criada no HEC-GeoRas, além de filtrar pontos desnecessários, excluir, interpolar, modificar as seções e os canais (Figura 5.4). Os valores de rugosidade foram determinados através da análise de fotos aéreas cedidas pela Prefeitura de Rio Negrinho, na escala 1:8000.

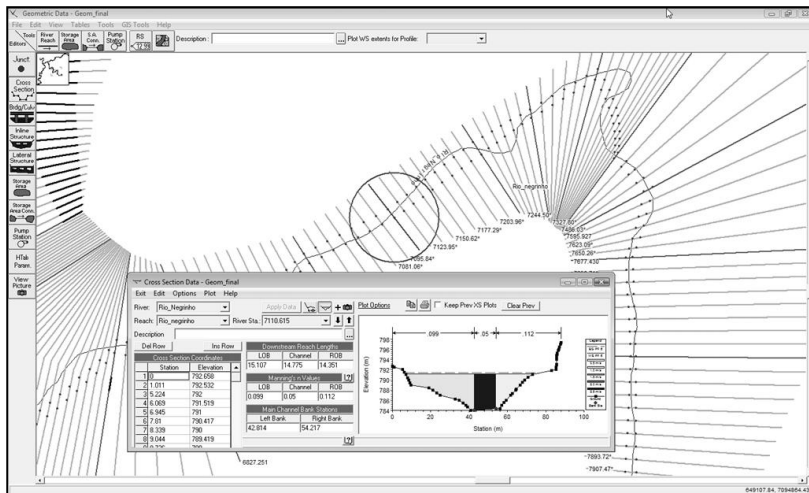


Figura 5.4 – Edição das seções transversais e demais feições

Para realizar as simulações determinou-se o trecho do rio Negrinho que cruza a área urbana do município. Na área urbana, o rio Negrinho se encontra com o rio dos Bugres e Serrinha. Nestes dois afluentes não há dados de vazão. Preferiu-se então simular apenas onde haviam dados. Além disso, o rio Negrinho é o principal rio da bacia, o de maior vazão e o principal responsável pelas inundações. No presente estudo considerou-se o fluxo como permanente, ou seja, a vazão era constante ao longo de todo o trecho simulado.

Além das simulações do canal, analisou-se isoladamente a seção localizada próxima a captação de água da Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMAE). Neste local, existem régua de medição de nível e foi marcada na estrutura da SAMAE a altura das águas de duas inundações (1983 e 1992), como demonstra a Figura 5.5 Foram simuladas diversas vazões até alcançar a cota referente ao nível marcado. Com um GPS Trimble R3, (L2), determinou-se a cota da Referência de Nível da seção de régua, e puderam-se obter as altitudes das águas do evento de setembro de 2009. Como as simulações do HEC-RAS geram a altitude das águas, as altitudes simuladas e medidas foram comparadas, para avaliar os resultados do HEC-RAS. Após ajustado, foram simuladas diversas vazões para determinar as cotas altimétricas na seção da SAMAE, até alcançar a cota das inundações de 1983 e

1992. Gerou-se então uma curva-chave para esta seção com os dados medidos/observados e uma curva-chave com os dados simulados/ajustados. Estas duas curvas-chave foram extrapoladas para diversas vazões e comparadas com os dados gerados diretamente pelo HEC-RAS para as mesmas vazões. Comparou-se então os três modelos: a curva-chave com os dados medidos, a curva-chave com dos dados simulados/ajustados e as cotas simuladas diretamente pelo HEC-RAS.



Figura 5.5 – Marca das inundações de 1983 e 1992.

5.3.2 - Plano Diretor

O Plano Diretor de Rio Negrinho determina como áreas inundáveis as terras situadas abaixo da cota de 792 m (SECRETARIA MUNICIPAL DO PLANEJAMENTO, 2006; SCHOEFFEL, 2009⁴, comunicação pessoal). Esta cota foi estabelecida com base em dois grandes eventos, os de 1983 e 1992. Em virtude desses eventos, a linha férrea foi deslocada para acima dessa cota, sendo esta linha uma referencia para a população local como sendo terras “totalmente”

⁴ Arquiteta e Urbanista da Secretaria Municipal de Planejamento e Meio Ambiente de Rio Negrinho

seguras. Com base nisso, traçou-se um polígono que abrangeu esta área dentro dos limites da área urbana, estabelecendo a área urbana considerada como inundada.

Com base nas áreas inundáveis de cada setor determinou-se o Perigo Estimado (*PE*):

$$PE = \frac{AI}{AT} \quad (5)$$

onde *AI* é a área do setor inundada e *AT* é a área total do setor.

Utilizou-se o *PE* como indicador do perigo e não as manchas de inundações geradas pelo HEC-RAS, pois não havia dados suficientes para simular o rio Serrinha e o rio dos Bugres. O rio Negrinho não abrange toda a área urbana, assim, o risco poderia ser estimado apenas nos setores adjacentes ou cortados por este rio. A utilização do *PE* se torna uma ferramenta mais eficaz para o gerenciamento das inundações.

5.4 - RISCO

Como comentado anteriormente, risco é uma função da vulnerabilidade e do perigo. A vulnerabilidade foi determinada para cada setor censitário através do Índice de Vulnerabilidade. O perigo foi determinado a partir do Perigo Estimado. A partir da relação entres estes dois parâmetros obteve-se o Índice de Risco (*IR*) para cada setor censitário, ou seja:

$$IR = IV.PE \quad (6)$$

Na Figura 5.6 tem-se um fluxograma das principais etapas e dos resultados do presente trabalho.

Tabela 5.3 – Valores de “n” de Manning sugeridos por HEC (2008c)

Tipo de Canal e Descrição	Valor min.	Valor méd.	Valor máx.
Canal Principal			
a. Limpo, reto, cheio, sem fendas ou poços fundos	0,025	0,030	0,033
b. Mesmo que acima, mas com pedras e pequenas folhagens	0,030	0,035	0,040
c. Limpo, sinuoso, <i>pools</i> , pequenas corredeiras.	0,033	0,040	0,045
d. Mesmo que acima, com mais blocos e folhagens	0,035	0,045	0,050
e. Rio em seu baixo curso, com baixa energia	0,040	0,048	0,055
f. Mesmo que o “d”, mas mais pedras	0,045	0,050	0,060
g. Rio vagaroso, com profundos <i>pools</i> e muitas gramíneas	0,050	0,070	0,080
h. Canais bem vegetados, profundos <i>pools</i> , com arbustos e galhos nas margens	0,070	0,100	0,150
Planície de Inundação			
Pasto Limpo			
a. gramíneas baixas	0,025	0,030	0,035
b. gramíneas altas	0,030	0,035	0,050
Agricultura			
a. sem cultivo	0,020	0,030	0,040
b. culturas esparsas (linhas)	0,025	0,035	0,045
c. culturas intensivas (campos)	0,030	0,040	0,050
Arbustos			
a. arbusto esparsos	0,035	0,050	0,070
b. arbusto e pequenas árvores no inverno	0,035	0,050	0,060
c. arbusto e pequenas árvores no verão	0,040	0,060	0,080
d. arbustos de médio e grande porte, no inverno	0,045	0,070	0,110
e. arbustos de médio e grande porte, no inverno	0,070	0,100	0,160
Árvores			
a. terreno limpo, com tocos de arvores, sem brotos	0,030	0,040	0,050
b. mesmo que acima, mas com muitos brotos	0,050	0,060	0,080
c. árvores enfileiradas, poucas árvores caídas, mato pequeno, fluxo abaixo dos ramos (galhos)	0,080	0,100	0,120
d. mesmo que acima, mas fluxo entre os ramos (galhos)	0,100	0,120	0,160
e. árvores grossas, matas densas, verão	0,110	0,150	0,200

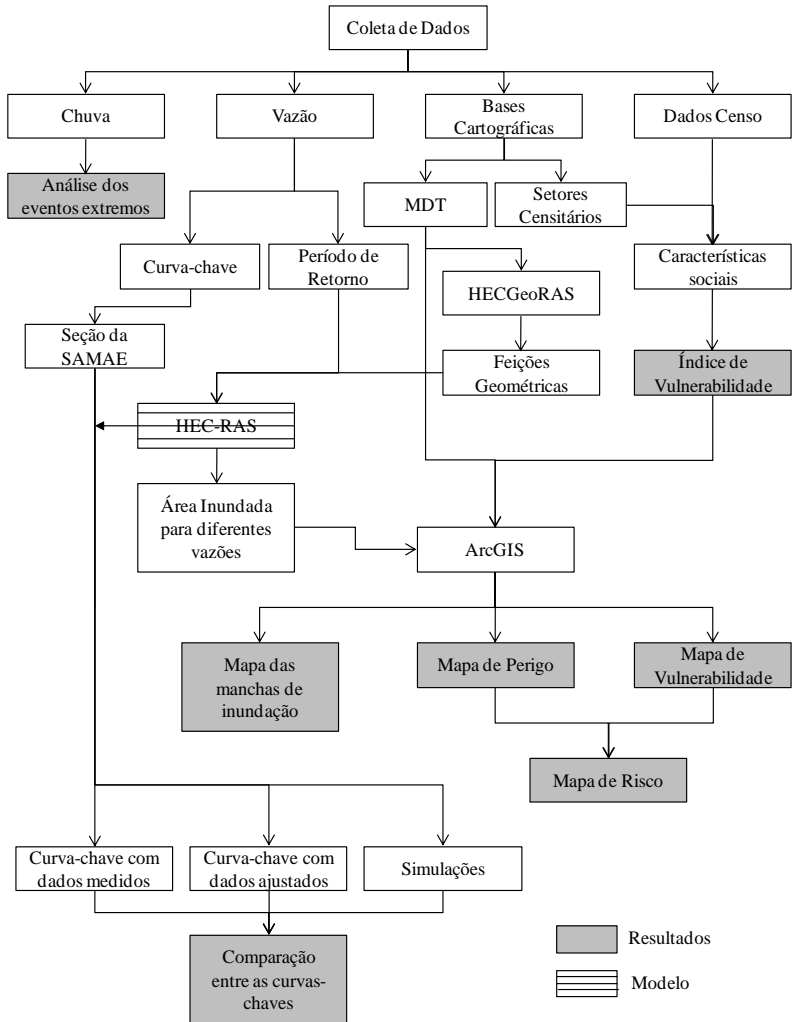


Figura 5.6 – Fluxograma das principais etapas metodológicas e dos principais resultados.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.

6.1 - INUNDAÇÕES EM RIO NEGRINHO – ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS

Nas Figuras 6.1 a 6.14 observam-se as precipitações dos anos nos quais ocorreram inundações mais severas e também os acumulados diários dos respectivos meses de inundação.

Na Figura 6.1 nota-se que o acumulado mensal de julho chegou a 538 mm, ultrapassando em mais de 4x a média mensal deste mês. Nota-se também que, em maio e junho deste ano, a precipitação acumulada ficou acima da média. Isto pode indicar que o solo da bacia já estava saturado. Além disso, os acumulados diários na primeira quinzena do mês (Figura 6.2) foram bem elevados, com cerca de 328 mm em apenas 5 dias, representando 61% do acumulado mensal.

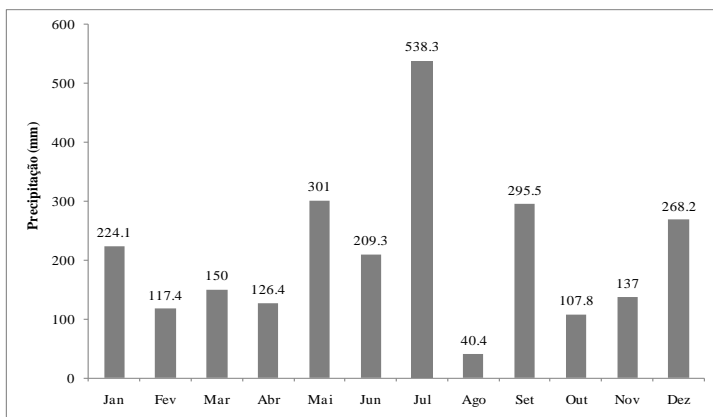


Figura 6.1 – Precipitação mensal de 1983.

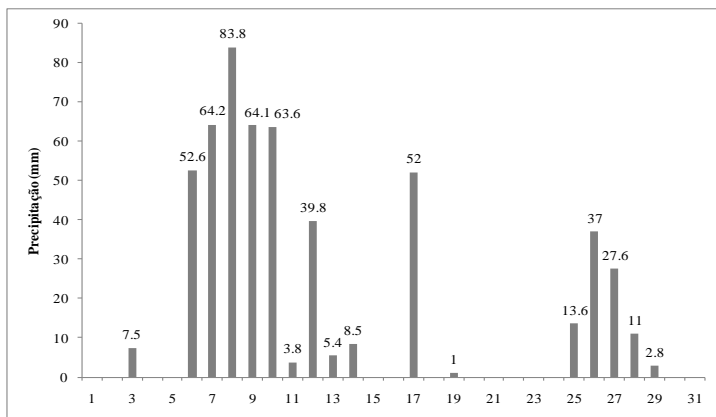


Figura 6.2 – Precipitação diária de Julho de 1983

Na inundação de 1984 as precipitações foram menores que em 1983, alcançando 385 mm em agosto (Figura 6.3). Neste mês (Figura 6.4), em apenas 4 dias choveu aproximadamente 57% do acumulado mensal. Além disso, semelhante ao ano anterior, observa-se que as chuvas dos meses anteriores podem ter contribuído para a saturação do solo, contribuindo para a ocorrência deste evento.

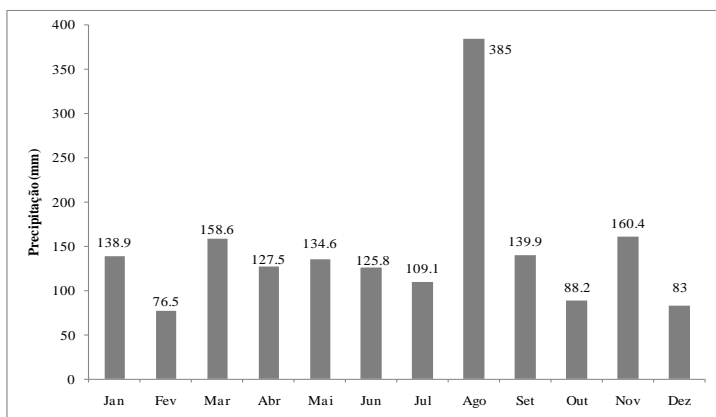


Figura 6.3 – Precipitação mensal de 1984

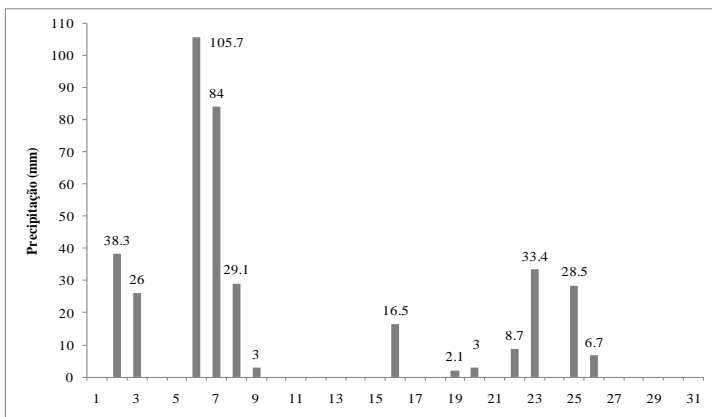


Figura 6.4 – Precipitação diária de Agosto de 1984

A inundação de 1992 foi considerada tão severa quanto à de 1983. Neste ano, o mês de Maio apresentou a maior precipitação acumulada, 482 mm (Figura 6.5), cerca de 60 mm a menos do que o evento de 1983. Observa-se que nos meses anteriores, especialmente em Abril, a precipitação não foi muito expressiva. Analisando os dados diários, (Figura 6.6), nota-se em apenas um dia (dia 29), choveu 35% do total mensal, e os últimos 5 dias do mês 64%.

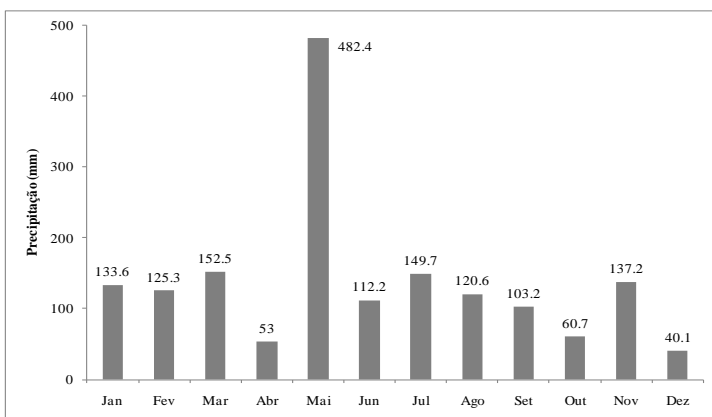


Figura 6.5 – Precipitação mensal de 1992

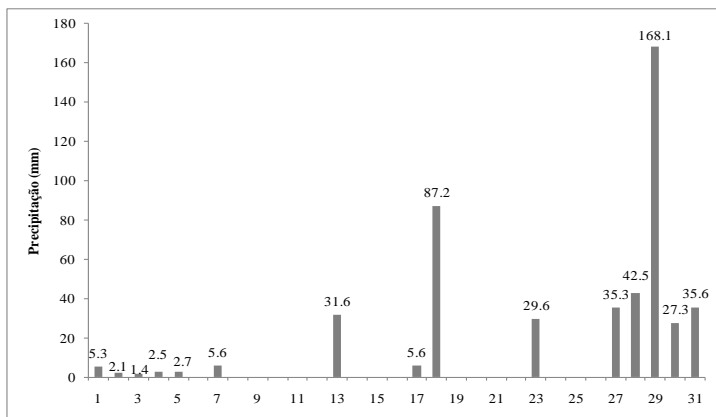


Figura 6.6 – Precipitação diária de maio de 1992.

Em 1995, o mês em que ocorreu a inundação, não foi o mês que apresentou o maior acumulado (Figura 6.7). Contudo, os acumulados diários foram significativamente elevados nos dias 7 e 8 de Julho, somando 135 mm em apenas dois dias (Figura 6.8). No ano de 1997 (Figura 6.9), observam-se três meses com acumulados mensais significativos: Janeiro (334 mm), Outubro (353 mm) e Novembro (291,1 mm). Apesar das chuvas possuírem valores semelhantes, apenas em Janeiro ocorreu inundação. Neste mês, nos dias 20 e 21 foi registrado cerca de 47% do acumulado mensal (Figura 6.10).

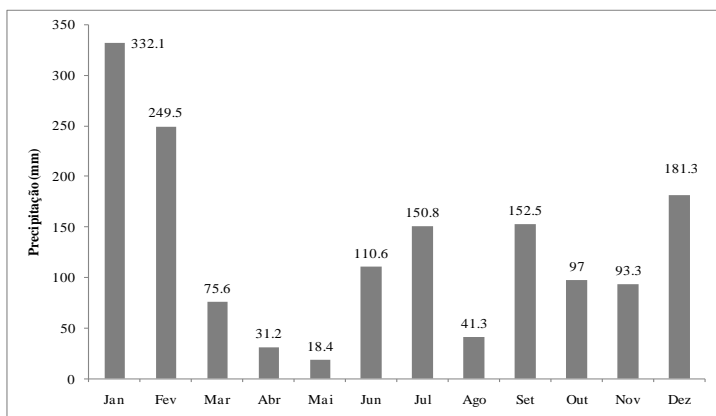


Figura 6.7 – Precipitação mensal de 1995

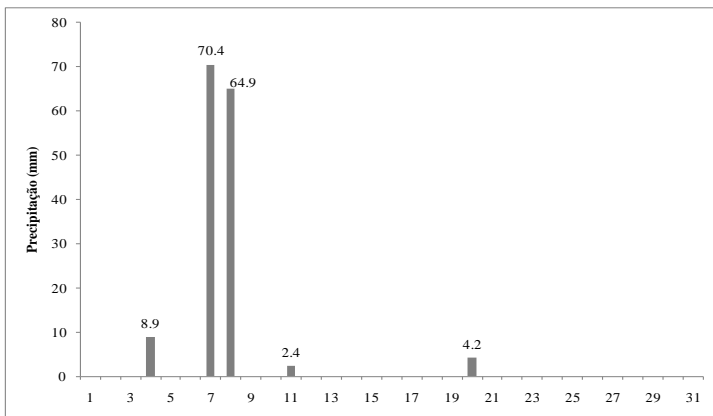


Figura 6.8 – Precipitação diária de julho de 1995

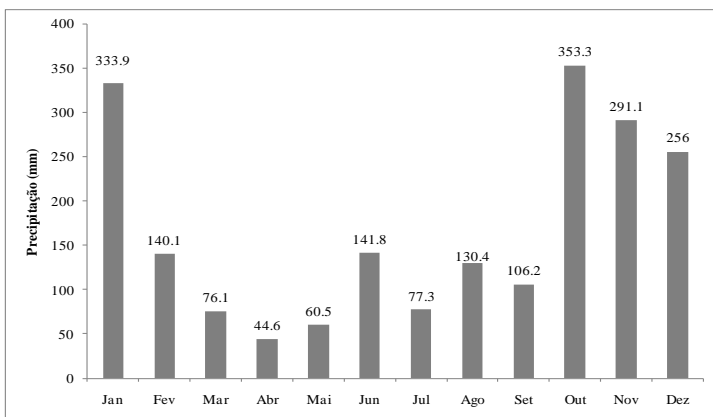


Figura 6.9 – Precipitação mensal de 1997

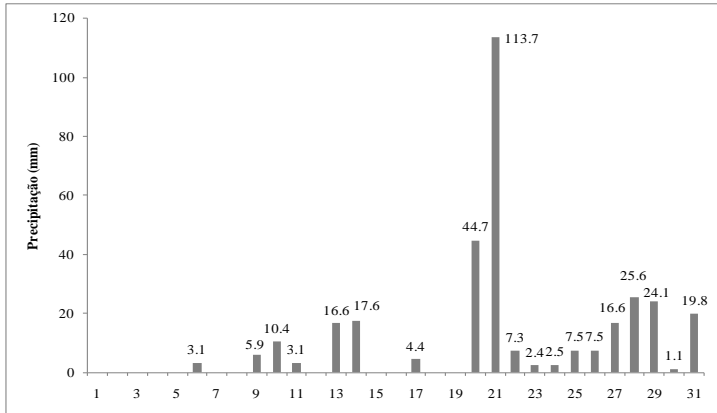


Figura 6.10 – Precipitação diária de janeiro de 1997

Na Figura 6.11 nota-se que ocorreu em agosto/98 um acumulado mensal maior do que os de julho/83 e maio de 1992. Contudo, conforme Schoeffel (2004), o mês de ocorrência de inundação foi em janeiro. No início de janeiro (Figura 6.12) houve dois picos de precipitação, dias 3 e 8, e entre estes dias chuvas contínuas. Comparada com os eventos analisados anteriormente, nota-se que a precipitação acumulada não foi tão significativa para causar uma inundação. O rio Negrinho, afluente do rio Negro, sofre um barramento quando o nível deste se encontra alto. Assim, este evento de inundação pode ter sido causado por um barramento ocasionado pelo rio Negro.

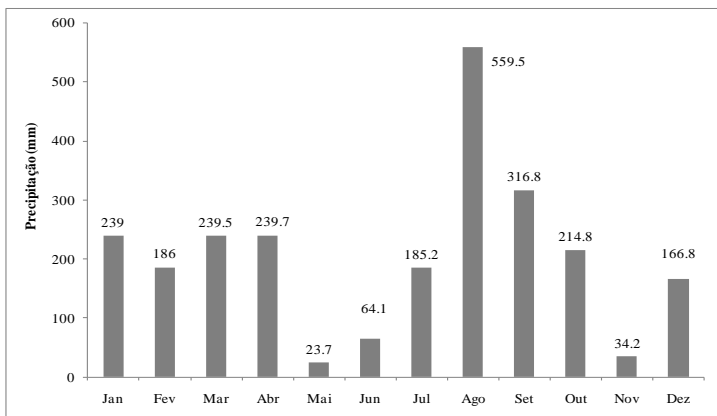


Figura 6.11 – Precipitação mensal de 1998

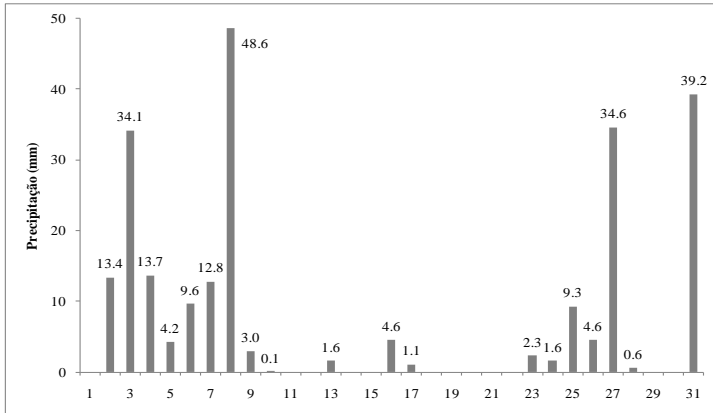


Figura 6.12 – Precipitação diária de janeiro de 1998.

Além destes eventos, em setembro de 2009, ocorreu uma inundação, cujos dados de chuva foram coletados pela estação meteorológica situada nas dependências da SAMAE. Segundo o Jornal Perfil (2009), a inundação ocorreu entre os dias 29 e 30 de setembro. A Defesa Civil municipal atendeu mais de 160 ocorrências, mas sem maiores danos. A Figura 6.13 demonstra o acumulado diário das chuvas dos dias que antecederam e dos que ocorreram a inundação. Utilizou-se o intervalo de dez dias em virtude de falhas no período anterior. Observa-se uma chuva significativa no dia 28, dia que antecedeu o evento, e que essa chuva iniciou na noite do dia 27 (Figura 6.14) e durou até a manhã do dia 28.

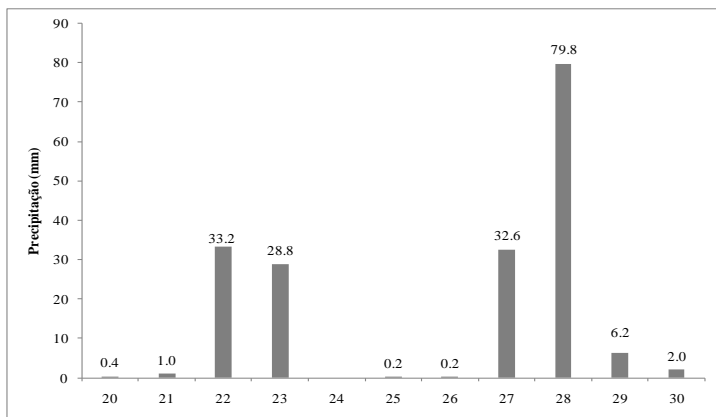


Figura 6.13 – Precipitação diária associada ao evento de setembro de 2009

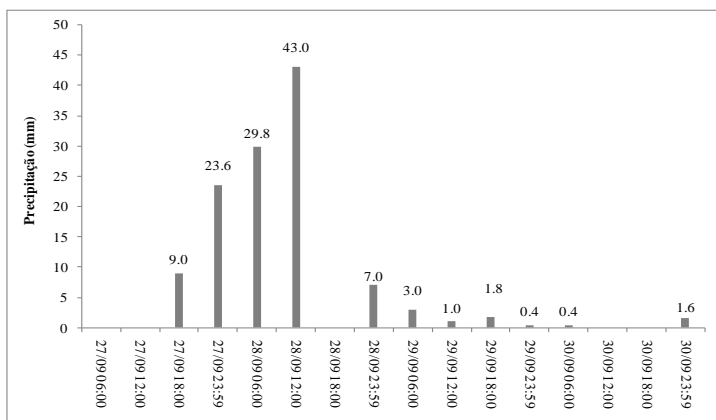


Figura 6.14 – Total precipitado a cada 6hs entre os dias 27 a 30 de setembro de 2009.

Na Figura 6.15a vê-se o rio Negrinho na seção da SAMAE e também a área inundada no centro do município (Figura 6.15b). Durante este evento, além das medições de chuva, foram realizadas com o Acoustic Doppler Profiler - ADP medições de vazão e de nível na SAMAE.



Figura 6.15 – Foto da inundação de setembro de 2009: a) seção da SAMAE e b) centro da cidade

Analisando os dados acima, observa-se que não se pode estabelecer um mínimo necessário de chuva para a ocorrência de uma inundação. Em cada evento, as chuvas foram distintas uma das outras. Na bacia do rio Negrinho, ocorre uma constante mudança no uso do solo, principalmente em virtude do plantio de *pinnus*. Esta alteração no uso do solo modifica também a taxa de infiltração e de escoamento superficial. Dessa maneira, analisando apenas a chuva não é possível determinar tendências ou um mínimo na precipitação para que ocorra

uma inundação. Outro ponto a ser considerado é a falta de dados dentro da bacia, sendo que os dados apresentados aqui são praticamente todos de uma única estação. Assim, faz-se necessário melhorar a rede de monitoramento dentro da bacia para análises futuras mais consistentes.

6.2 - ESTUDO DE INUNDAÇÕES UTILIZANDO O HEC-RAS

Utilizando o modelo HEC-RAS foram geradas diversas manchas de inundação para diferentes períodos de retorno.

Os períodos de retorno foram calculados com base na série histórica de medições de cotas da estação Rio Negrinho Montante, localizada a aproximadamente 3,6 km a montante da seção de régua da SAMAE. Para esta estação, foi estabelecida pela Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Paraná - SUDERHSA uma tabela cota (cm) x vazão (m^3/s) para o período: 20/08/2002 a 31/12/2009. A partir desta tabela foram selecionadas as cotas máximas de cada ano (2002 a 2008) e determinadas às vazões correspondentes. As vazões máximas de cada ano foram transformadas de m^3/s para mm/dia. Aplicou-se a Distribuição de Gumbel (BACK, 2002) para determinar as vazões com período de retorno de 10, 50, 100, 200 e 500 anos para Rio Negrinho Montante. Até esta estação, a bacia do rio Negrinho possui 176,6 km^2 e até a SAMAE, 195 km^2 . Como a vazão em qualquer ponto da bacia é proporcional a área de contribuição, fez-se uma regra de três simples para determinar a vazão correspondente na estação SAMAE a partir dos dados de Rio Negrinho Montante. Ressalta-se que há grande incerteza neste tempo de retorno pela pequena quantidade de dados medidos, e por se estar transpondo o dado de um ponto da bacia para outro tendo por base uma simples relação de área.

A Figura 6.16 apresenta o resultado do cálculo do tempo de retorno da estação SAMAE. Observa-se um rápido aumento da vazão até o Tempo de Retorno 100 anos e depois uma atenuação da curva. Assim, a vazão varia rapidamente em tempos de retorno menores diminuindo variação para tempos maiores.

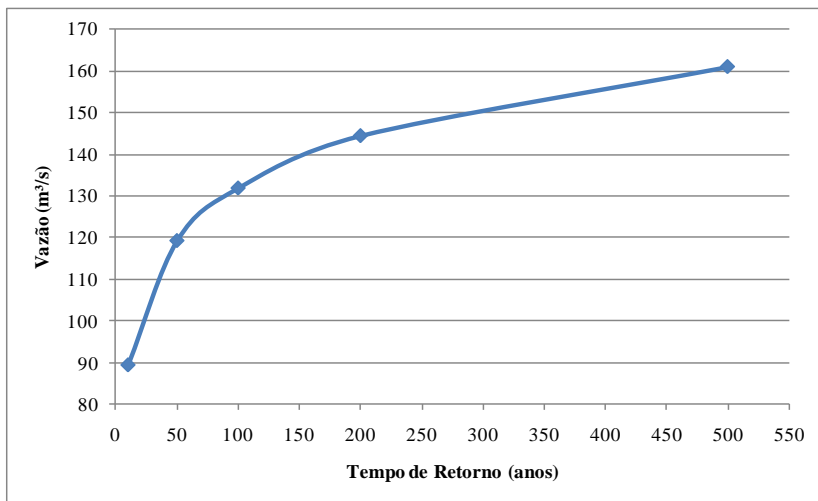


Figura 6.16 – Tempos de Retorno e suas vazões correspondentes para a seção da SAMAE.

Com base nestes tempos de retorno foram simuladas as respectivas vazões no HEC-RAS para obter a área inundada. Nas Figuras 6.17 a 6.21 são apresentados os perfis longitudinais das inundações para os diferentes períodos de retorno, no trecho do rio Negrinho simulado, onde também está destacada a seção da SAMAE. Observam-se algumas falhas na interpolação do canal. Estas falhas não alteraram a altura das águas, pois não há um aumento correspondente na superfície simulada.

Em todos os perfis, tem-se dois comportamentos distintos, um para o trecho de 0 a ~3800 m, e outro para o trecho a montante de 3800 m. Observa-se uma queda brusca na altura das águas neste ponto. Traçando um perfil topográfico com base no MDT, não se observa variação de cota no canal neste ponto, estando o trecho inserido na cota 783m. Analisando o MDT, nota-se que há um afunilamento da planície da inundação neste trecho (Figura 6.22). Além disso, há uma elevação das margens, passando de 786 para 788. Neste caso, a planície pode ter exercido um controle sobre o fluxo do canal. Analisando todos os perfis observa-se que este controle estrutural diminui enquanto a vazão aumenta. Nota-se também a diminuição da altura das águas ao longo do trecho simulado. Isto pode ser causado pelo alargamento do canal, que

ao receber águas dos rios Serrinha e Bugres passa da largura de 8 m para 15 m, aproximadamente.

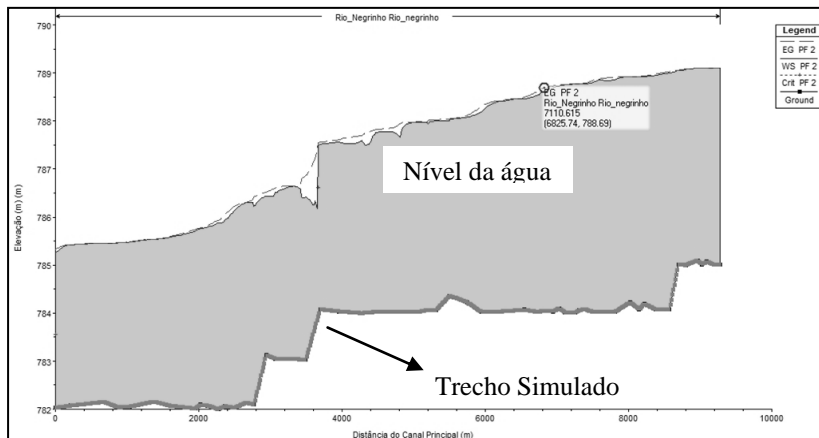


Figura 6.17 – Perfil da área inundada no rio Negrinho para Tr 10 anos



Figura 6.18 – Perfil da área inundada no rio Negrinho para Tr 50 anos

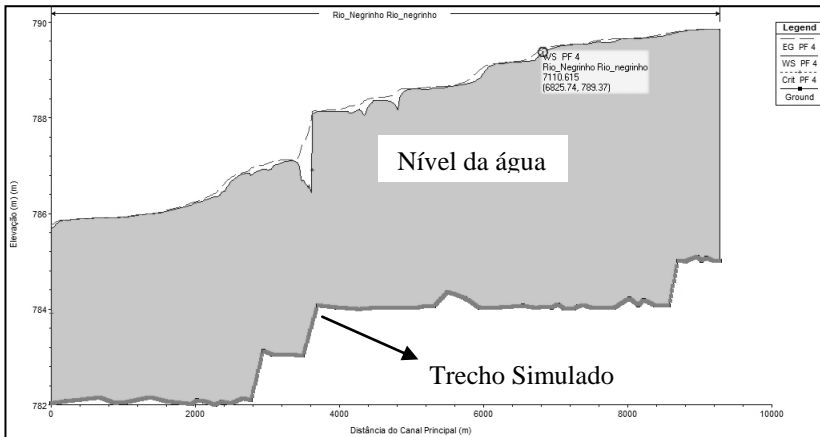


Figura 6.19 – Perfil da área inundada no rio Negrinho para Tr 100 anos

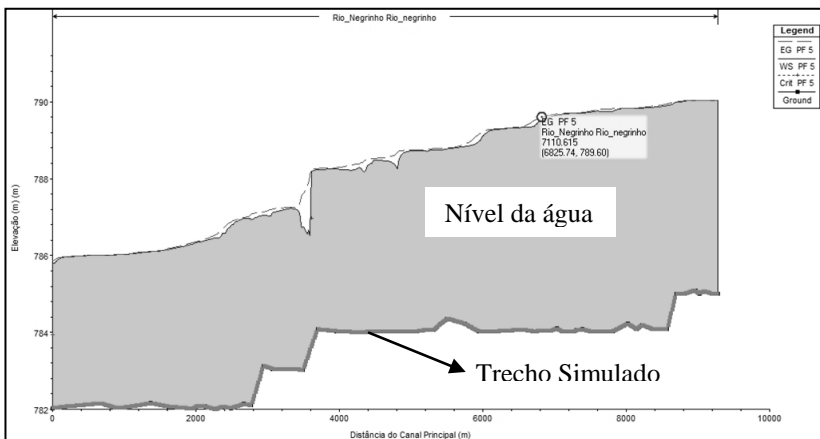


Figura 6.20 – Perfil da área inundada no rio Negrinho para Tr 200 anos

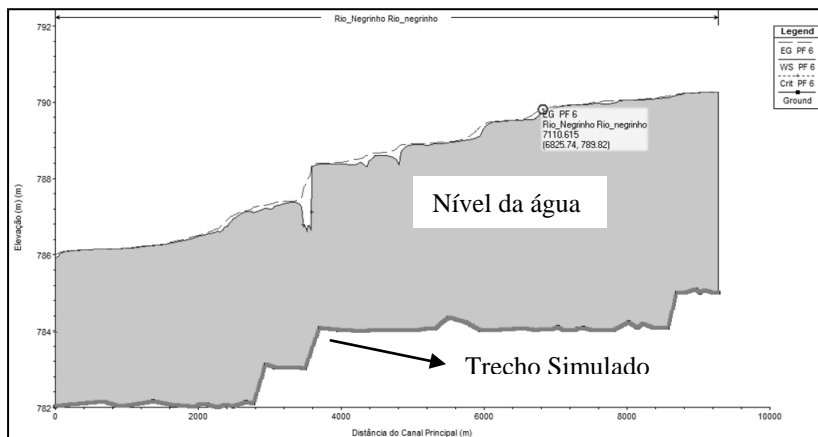


Figura 6.21 – Perfil da área inundada no rio Negrinho para Tr 500 anos

A partir das simulações do HEC-RAS foram geradas as áreas inundáveis para os respectivos tempos de retorno. A Tabela 6.1 apresenta as características para cada tempo de retorno, como a vazão, a cota na seção da SAMAE e a área total inundada. O Mapa 01 apresenta as manchas de inundação.

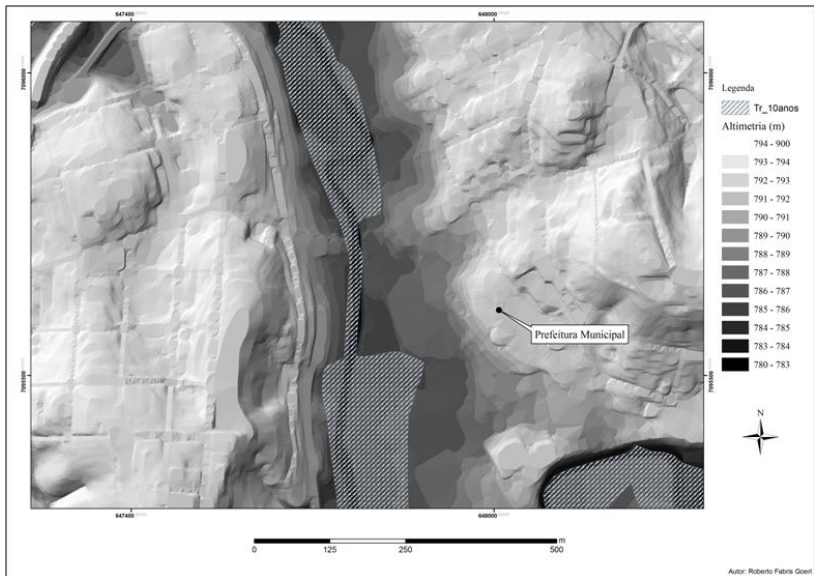
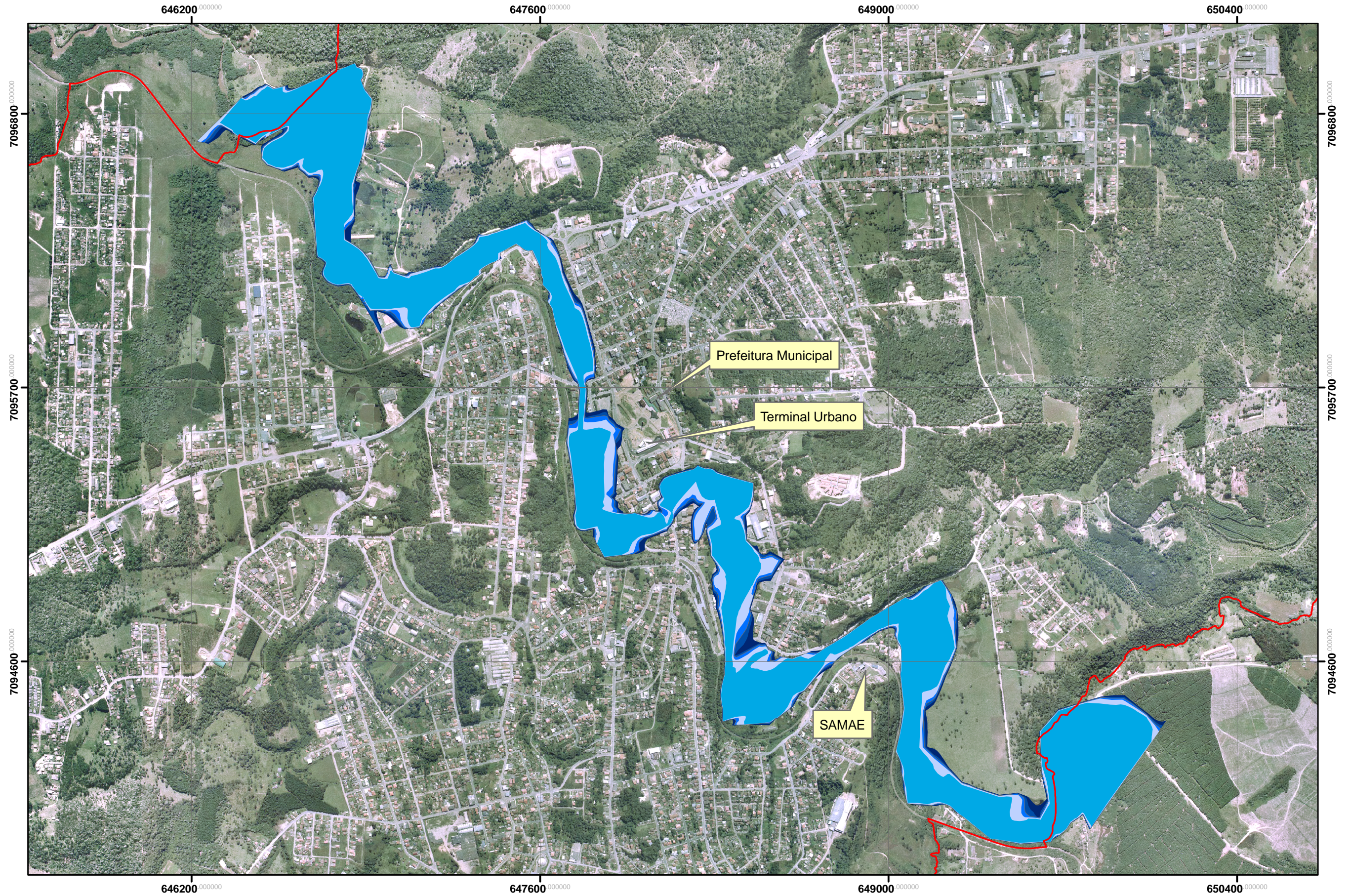


Figura 6.22 – Trecho do canal onde ocorre o afunilamento da área inundada e da planície de inundação

Tabela 6.1 – Características das inundações para cada período de retorno.

Período de Retorno	Q (m ³ /s)	Altitude (m)	Área inundada (km ²)
10 anos	90	788.64	0,98
50 anos	119	789.17	1,11
100 anos	132	789.37	1,16
200 anos	144	789.53	1,20
500 anos	161	789.74	1,25

Mapa das áreas inundáveis para diferentes períodos de retorno no perímetro urbano de Rio Negrinho - SC



Projeção: Universal Transversa de Mercator - UTM
Sistema de Referência: SAD 69 - Fuso 22S



6.3 - ANÁLISES HIDROLÓGICAS NA SEÇÃO DA SAMAE

Foi realizada uma análise mais detalhada dos dados simulados e os observados na seção da SAMAE. Durante o evento de chuva de setembro de 2009, foram realizadas medições com um medidor acústico de vazão, modelo Acoustic Doppler Profiler (ADP). Foram comparados os dados das medições com os dados simulados no HEC-RAS. Modificou-se o coeficiente de rugosidade até que a cota simulada e a cota observada ficassem próximas, considerando assim o modelo ajustado para aquela seção. A Figura 6.24 apresenta os dados medidos e os dados simulados/ajustados.

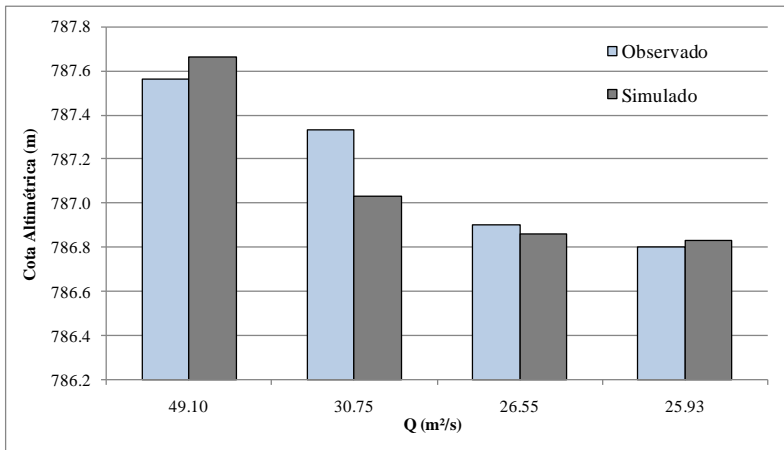


Figura 6.24 – Dados observados e simulados na estação da SAMAE.

Utilizando os dados observados e os dados medidos estabeleceu-se uma curva chave (Figura 6.25 e 6.26) com base em uma regressão linear. Adotou-se a equação exponencial pois foi a que obteve o melhor ajuste.

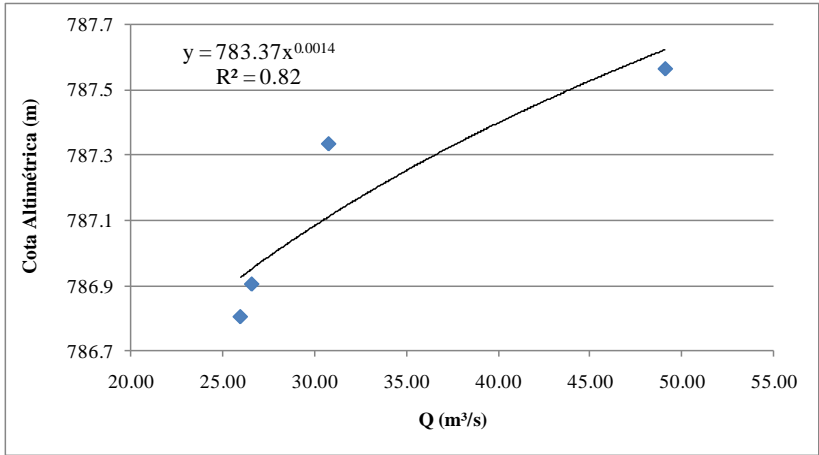


Figura 6.25 – Curva-chave estabelecida com base nos dados medidos

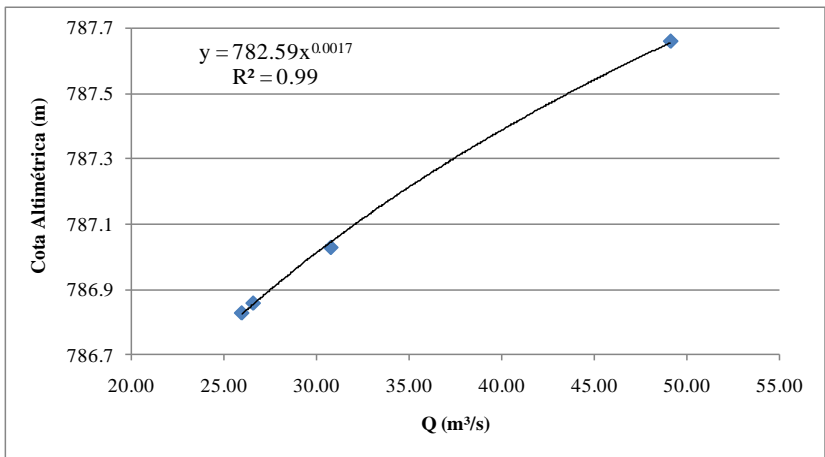


Figura 6.26 – Curva-chave estabelecida com base nos dados simulados e ajustados

6.4 - VULNERABILIDADE.

Foram compiladas 6 variáveis com base nos dados do censo para construir o índice de vulnerabilidade. Escolheu-se essas variáveis por serem representativas das três esferas principais que compõem a vulnerabilidade: demografia, educação e economia. As Figuras 6.27, 6.28 e 6.29 apresentam a distribuição espacial destas variáveis.

Nota-se na Figura 6.27 que nos setores centrais da área urbana são os que possuem a menor média de moradores por residência e a menor população dependente. Em relação às características populacionais do setor, ocorre uma distribuição heterogênea da população (Figura 6.28a) com apenas três setores com população acima dos 1288 habitantes, e apenas dois setores com alta densidade demográfica (Figura 6.28b). Observa-se também que os setores centrais são os que apresentam maior densidade demográfica. Tem-se na Figura 6.29a a porcentagem de analfabetos da população acima dos 12 anos e na Figura 6.29b a porcentagem da população com renda de até 1 salário mínimo ou sem renda. Muitos setores que apresentaram uma porcentagem de analfabetos média (2,28% a 4,60%) foram os que apresentaram uma média porcentagem de população de renda baixa (10,21% a 16,83%).

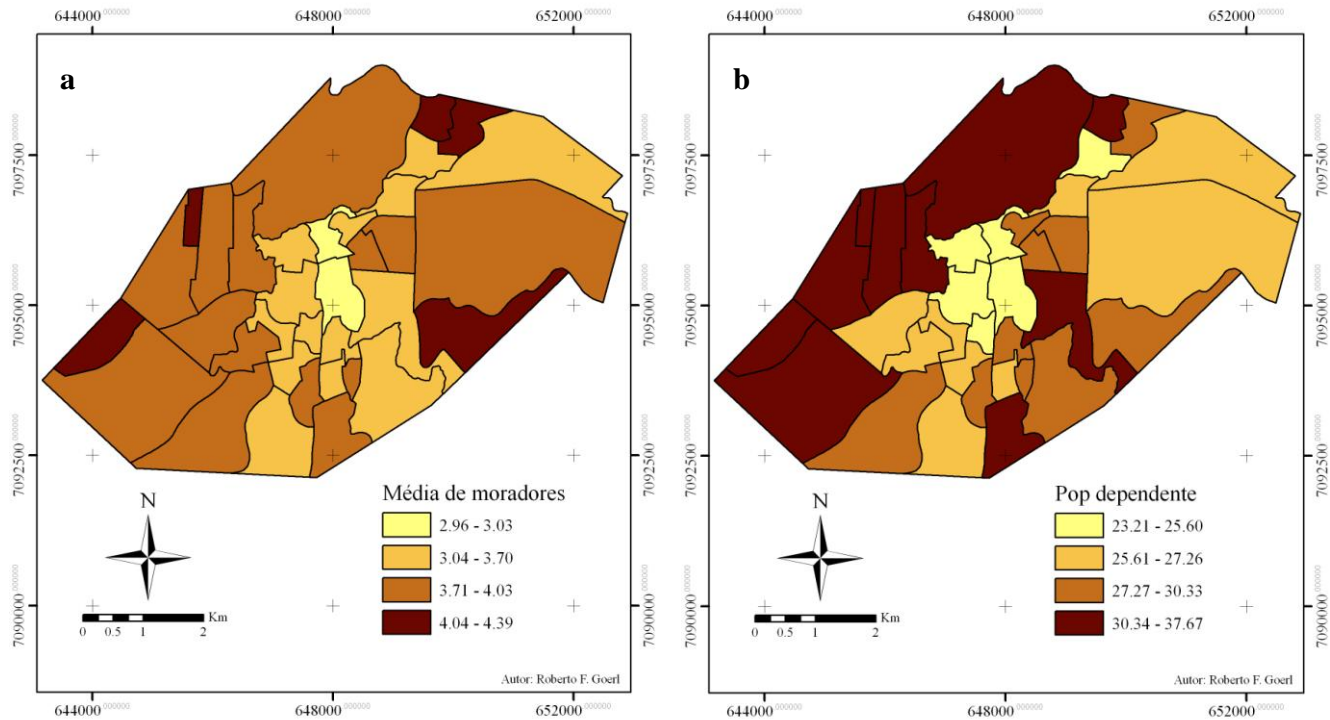


Figura 6.27 – Características demográficas dos setores: a) média de moradores por residência (em habitantes) e b) % da população dependente (abaixo de 12 e acima de 65 anos)

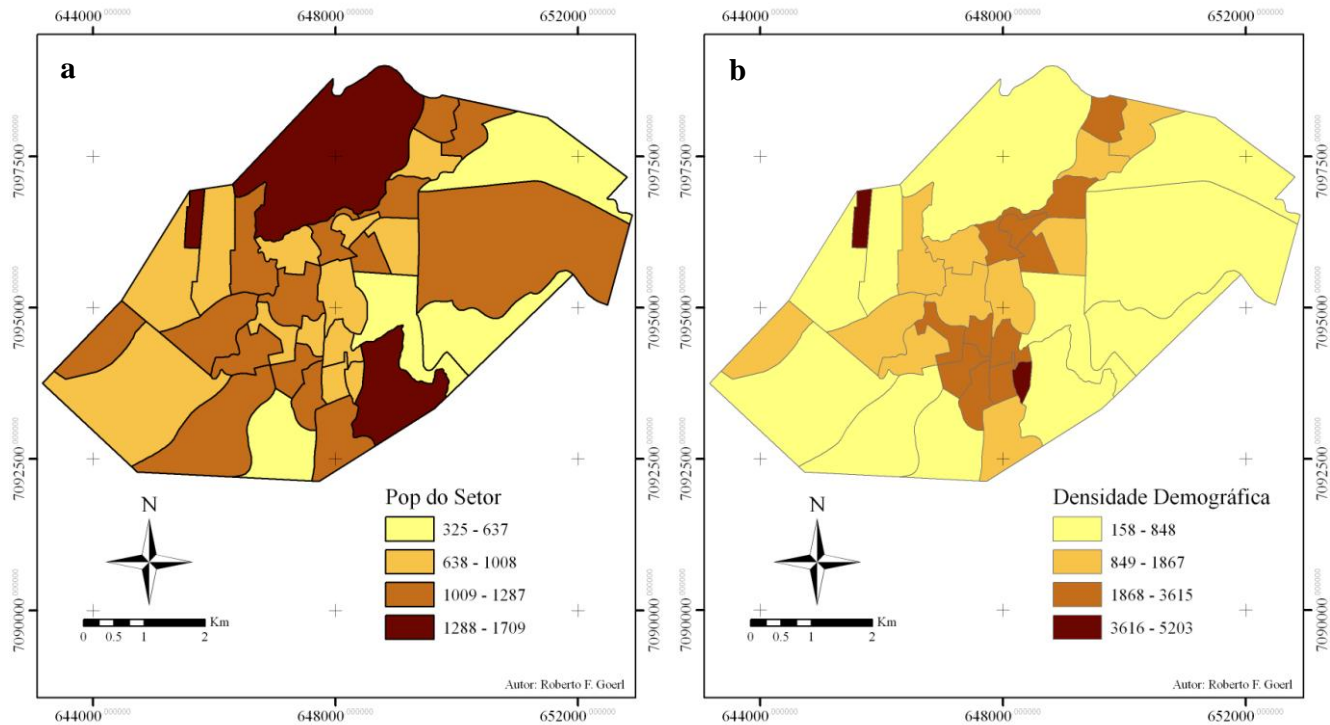


Figura 6.28 – Características populacionais do setor: a) população total do setor, b) densidade demográfica (hab/km²)

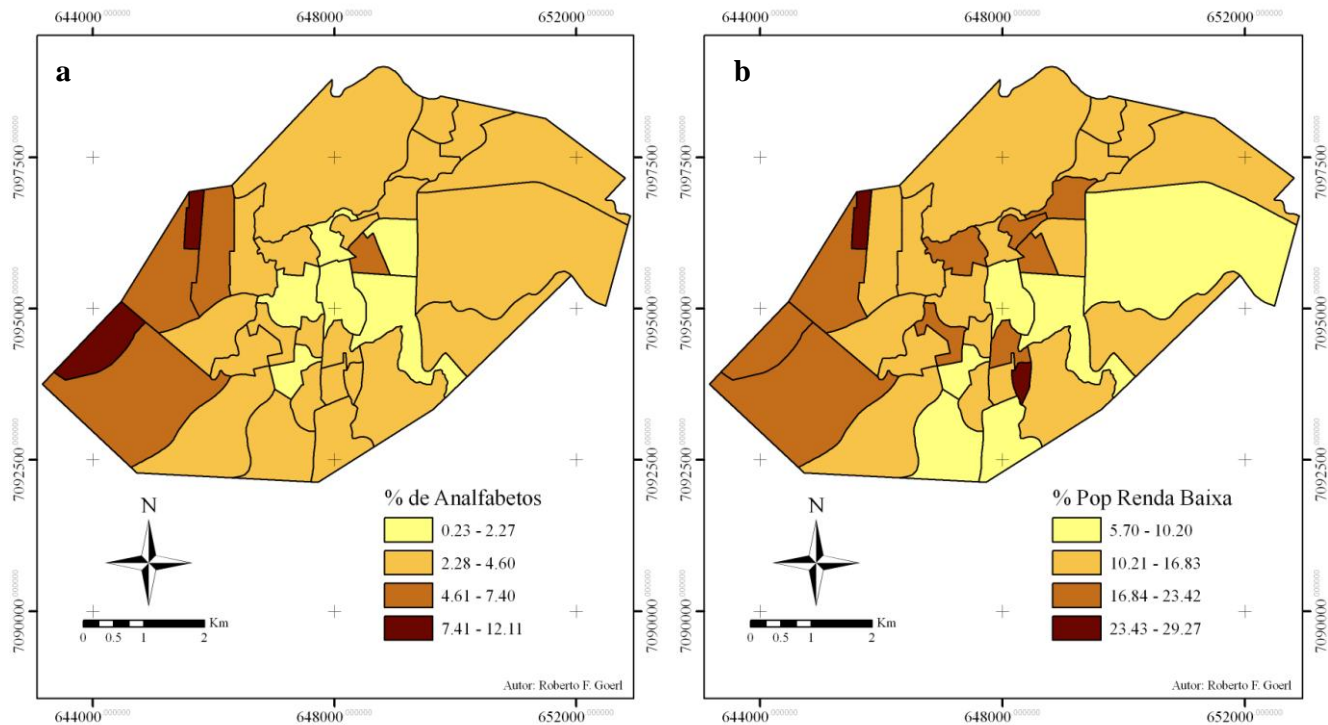


Figura 6.29 – Características sócias do setor: a) % de pessoas analfabetas acima de 12 anos, b) % da população sem salário ou com renda de até 1 salário mínimo.

Na Tabela 6.2 são apresentados os dados escalonados bem como o resultado final do Índice de Vulnerabilidade de cada setor censitário. Nesta tabela também estão destacados os valores mínimos e máximos de cada variável. Utilizando o desvio quartílico, estes setores foram agrupados em quatro classes: Muito Alta, Alta, Média e Baixa, conforme demonstra a Figura 6.30. Assim, tem-se para a área urbana de Rio Negrinho a vulnerabilidade de casa setor, conforme estas quatro classes.

Nota-se pela figura que há duas áreas distintas. Na parte leste, predominaram setores com vulnerabilidade alta e muito alta, e na parte oeste e central, setores com vulnerabilidade média e baixa. Observa-se também dois setores situados na área central que apresentaram a vulnerabilidade Muito Alta, o 0011 e o 0004. O setor 0011 apresenta uma alta densidade demográfica (0,98) e também uma alta porcentagem de pessoas com baixo rendimento (0,93). Semelhante situação ocorre também no setor 0004, mas de forma mais equilibrada, onde as três primeiras variáveis apresentaram valores semelhantes e relativamente altos quando comparados com outros setores.

Dentre os setores classificados com Muito Alta, o que apresentou maior vulnerabilidade foi o 0030. Este setor possui o maior índice para todas as variáveis (1,00), exceto em “Moradores no Setor”. Além disso, seu Índice de Vulnerabilidade foi 1,5 vezes maior do que o segundo setor (Setor 20).

O setor que apresentou menor vulnerabilidade foi o 0001, sendo que a única variável que apresentou um dado relativamente elevado foi a “Moradores no Setor”.

Tabela 6.2 – Dados socioeconômicos e a vulnerabilidade de cada setor censitário

Setor	Moradores no Setor	Média de moradores por domicílio	Densidade Demografica Hab/Km²	Pop abaixo 12 acima 65	Taxa de Analfabetismo pop acima de 12 anos	% de responsável sem rendimento ou com rendimento de até 1 SM	Vulnerabilidade
421500005000001	0,41	0,00	0,19	0,15	0,09	0,02	1,09
421500005000002	0,52	0,05	0,50	0,12	0,11	0,40	2,15
421500005000003	0,33	0,34	0,58	0,31	0,3	0,57	3,09
421500005000004	0,62	0,68	0,63	0,36	0,47	0,53	4,17
421500005000005	0,47	0,65	0,25	0,37	0,13	0,32	2,8
421500005000006	0,65	0,50	0,45	0,28	0,22	0,55	3,36
421500005000007	0,52	0,55	0,00	0,24	0,26	0,18	2,21
421500005000008	0,16	0,85	0,03	0,35	0,27	0,34	2,54
421500005000009	0,23	0,31	0,05	0,57	0,00	0,00	1,47
421500005000010	0,89	0,52	0,14	0,33	0,35	0,37	3,29
421500005000011	0,39	0,56	0,98	0,49	0,37	0,93	4,71
421500005000012	0,40	0,40	0,44	0,32	0,3	0,5	2,99
421500005000013	0,44	0,49	0,63	0,19	0,24	0,26	2,85
421500005000014	0,52	0,59	0,19	0,57	0,29	0,19	2,98
421500005000015	0,00	0,40	0,01	0,26	0,32	0,12	1,41
421500005000016	0,65	0,67	0,53	0,34	0,26	0,43	3,64
421500005000017	0,59	0,40	0,54	0,20	0,13	0,15	2,54
421500005000018	0,51	0,53	0,06	0,37	0,25	0,41	2,69
421500005000019	0,48	0,63	0,02	0,56	0,60	0,59	3,66
421500005000020	0,53	0,89	0,20	0,67	0,79	0,75	4,85
421500005000021	0,69	0,62	0,19	0,21	0,31	0,33	2,98
421500005000022	0,59	0,68	0,34	0,24	0,27	0,38	3,16
421500005000023	0,38	0,40	0,41	0,21	0,25	0,71	2,99
421500005000024	0,44	0,43	0,69	0,08	0,2	0,33	2,74
421500005000025	0,57	0,44	0,25	0,17	0,17	0,35	2,47
421500005000026	0,48	0,30	0,31	0,00	0,31	0,61	2,74
421500005000027	0,57	0,65	0,19	0,16	0,32	0,31	3,31
421500005000028	0,39	0,57	0,11	0,75	0,40	0,47	3,41
421500005000029	0,49	0,73	0,09	0,67	0,47	0,67	3,95
421500005000030	0,79	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	7,34
421500005000031	1,00	0,75	0,03	0,68	0,34	0,42	4,08
421500005000032	0,49	0,46	0,33	0,00	0,26	0,35	2,39
421500005000033	0,62	0,89	0,48	0,71	0,25	0,28	4,1
421500005000034	0,55	0,91	0,32	0,45	0,31	0,43	3,77
421500005000035	0,21	0,38	0,01	0,25	0,28	0,34	1,85

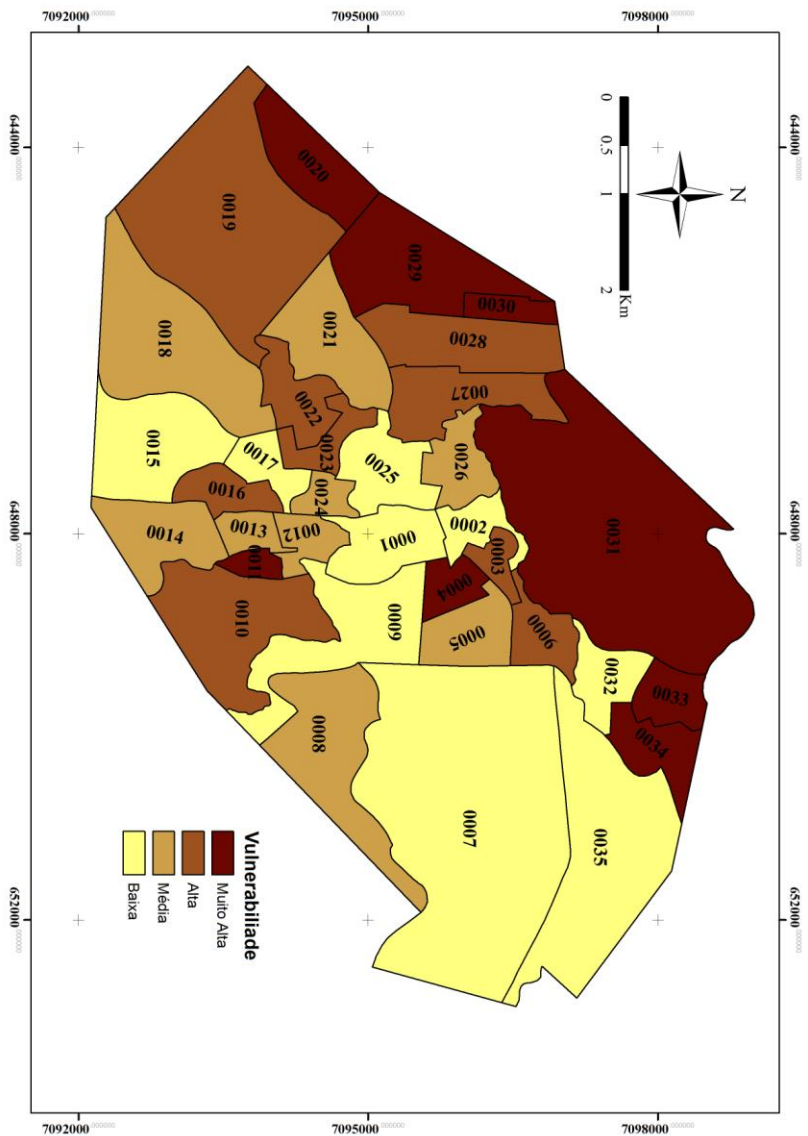


Figura 6.30 – Mapa de vulnerabilidade da área urbana do município de Rio Negro.

6.5 - PERIGO ESTIMADO.

O Plano Diretor de Rio Negrinho determina que as terras situadas abaixo da cota 792 m são consideradas como sendo áreas de inundação. Com base nisso, a partir do levantamento planialtimétrico realizado pela AGRITEC S.A., delimitou-se o polígono da área inundada (Figura 6.31). Determinou-se assim a área inundada de cada setor (Tabela 6.3), sua proporção em relação à área total e por sua vez, o Perigo Estimado (PE).

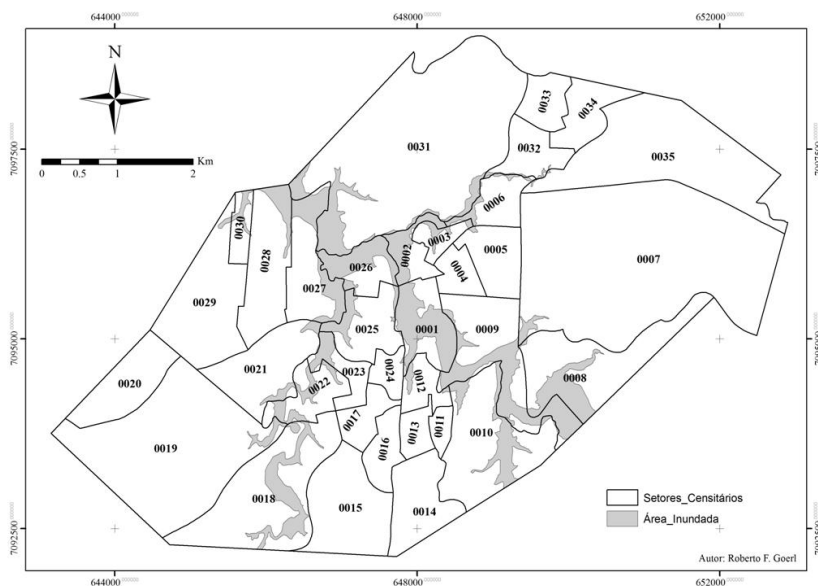


Figura 6.31 – Área inundada abaixo da cota 792 m.

A Figura 6.32 apresenta a distribuição espacial do Perigo Estimado (PE) segundo os setores censitários. Nota-se que os setores centrais são os que apresentam maior PE, áreas estas que se desenvolveram nas margens do rio Negrinho. Nota-se também que há setores que estão quase que totalmente acima desta cota. O PE pode ser útil no gerenciamento de áreas inundáveis, pois desconsidera áreas de baixo perigo.

Como demonstrado nos perfis longitudinais gerados pelo HEC-RAS, admitindo uma vazão constante ao longo do canal, as cotas relacionadas ao longo das seções variaram. Assim, para atingir uma mesma cota, a vazão deve variar ao longo de todo trecho. Dessa

maneira, a aplicação do PE como ferramenta de gerenciamento deve ser utilizado com cautela, pois estar-se-ia admitindo uma área como inundável, sendo que na verdade ela não é ou é necessário ocorrer um evento muito extremo para alcançá-la.

Tabela 6.3 – Área inundada de cada setor censitário

Setor	Área Inundada (km ²)	Setor	Área Inundada (km ²)
01	0,49	19	0,05
02	0,20	20	0,00
03	0,05	21	0,07
04	0,00	22	0,15
05	0,01	23	0,10
06	0,07	24	0,00
07	0,05	25	0,14
08	0,33	26	0,31
09	0,58	27	0,31
10	0,38	28	0,13
11	0,00	29	0,01
12	0,03	30	0,05
13	0,00	31	0,44
14	0,00	32	0,02
15	0,00	33	0,00
16	0,00	34	0,00
17	0,00	35	0,00
18	0,35	Total	4,23

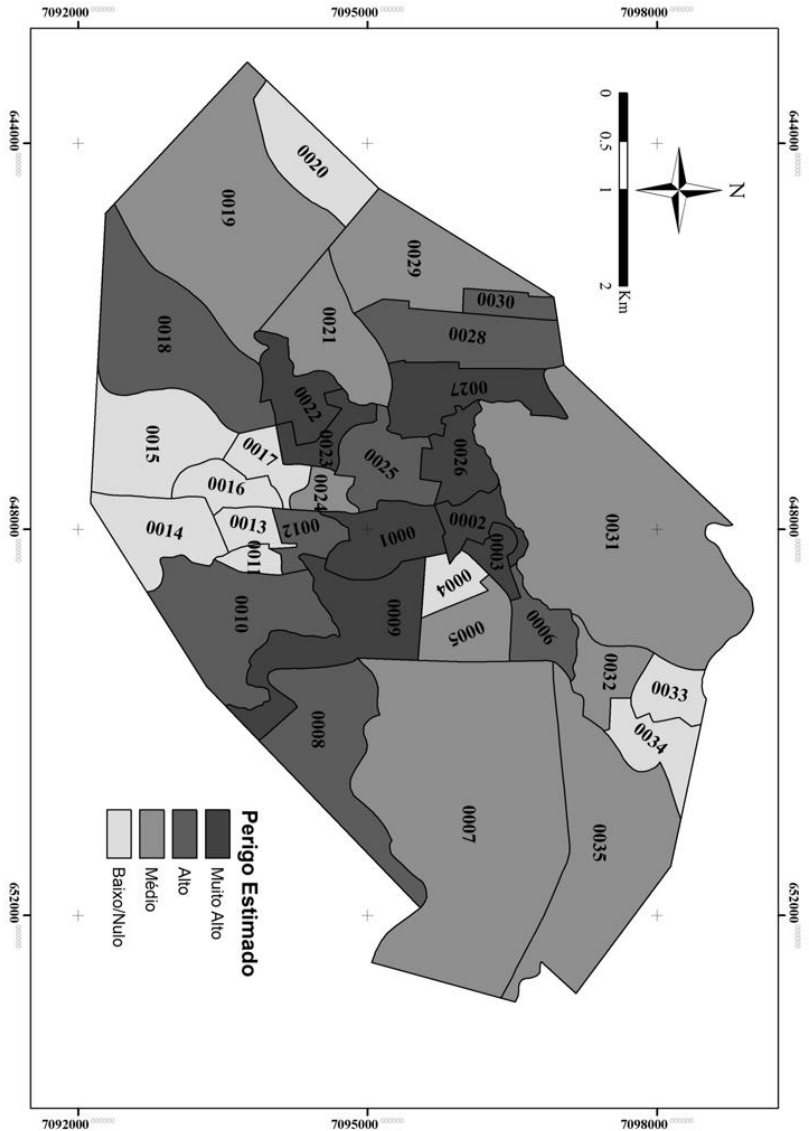


Figura 6.32 – Mapa do Índice de Perigo da área urbana de Rio Negro.

6.6 - MAPA DE RISCO

Risco é uma função do Perigo e da Vulnerabilidade. Comparando o risco, a vulnerabilidade e o perigo de cada setor censitário e analisando as suas correlações, fica claro a influência que o Perigo teve na construção do Risco. Na Figura 6.33a vê-se uma forte correlação ($R^2 = 0.72$) entre Risco e Perigo. Já entre Risco e Vulnerabilidade, Vulnerabilidade e Perigo as correlações são fracas. Assim, o que mais influência no Risco foi o Perigo. Isto demonstra que nas inundações, da maneira como aqui foram consideradas, ou seja, as características físicas da bacia têm um papel mais importante na construção do Risco do que as condições socioeconômicas (Vulnerabilidade).

Ressalta-se que o Risco foi construído sem levar em conta as características hidrológicas das inundações. Usou-se como comentado anteriormente, uma cota máxima para determinar a área inundada, superestimando o risco. Por outro lado, utilizando as simulações do HEC-RAS poder-se ia subestimar o perigo e conseqüentemente o risco. Devido à falta de dados de vazão, e tratando-se de risco, ou seja, danos e prejuízos, superestimar o perigo traz maior segurança para a população. A utilização do risco aqui proposto restringiria algumas áreas que poderiam ser de baixo ou médio risco, mas traria uma prevenção mais efetiva.

Por fim, elaborou-se um mapa de risco da área urbana de Rio Negrinho (Figura 6.34). Em primeiro lugar, vê-se que os setores centrais foram os que apresentaram o maior risco, mesmo possuindo uma vulnerabilidade baixa e média. Isto porque, na função aqui adotada, tanto a vulnerabilidade como o perigo tiveram o mesmo peso. Dessa maneira, setores que possuíram alto grau de vulnerabilidade mas não possuíam alto perigo foram classificados como de baixo risco. O contrário também ocorreu, pois setores que possuem baixa vulnerabilidade e alto perigo foram classificados como alto ou médio risco.

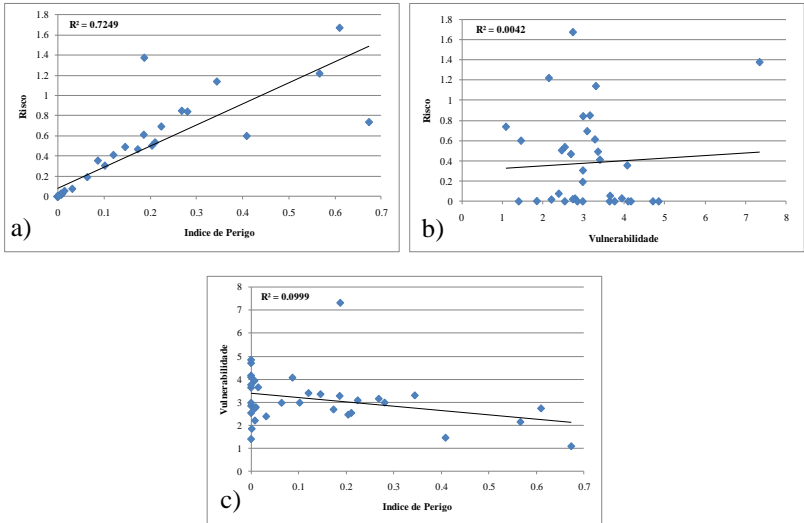


Figura 6.33 – Correlações entre os parâmetros mapeados: a) Risco e Perigo, b) Risco e Vulnerabilidade e c) Vulnerabilidade e Perigo.

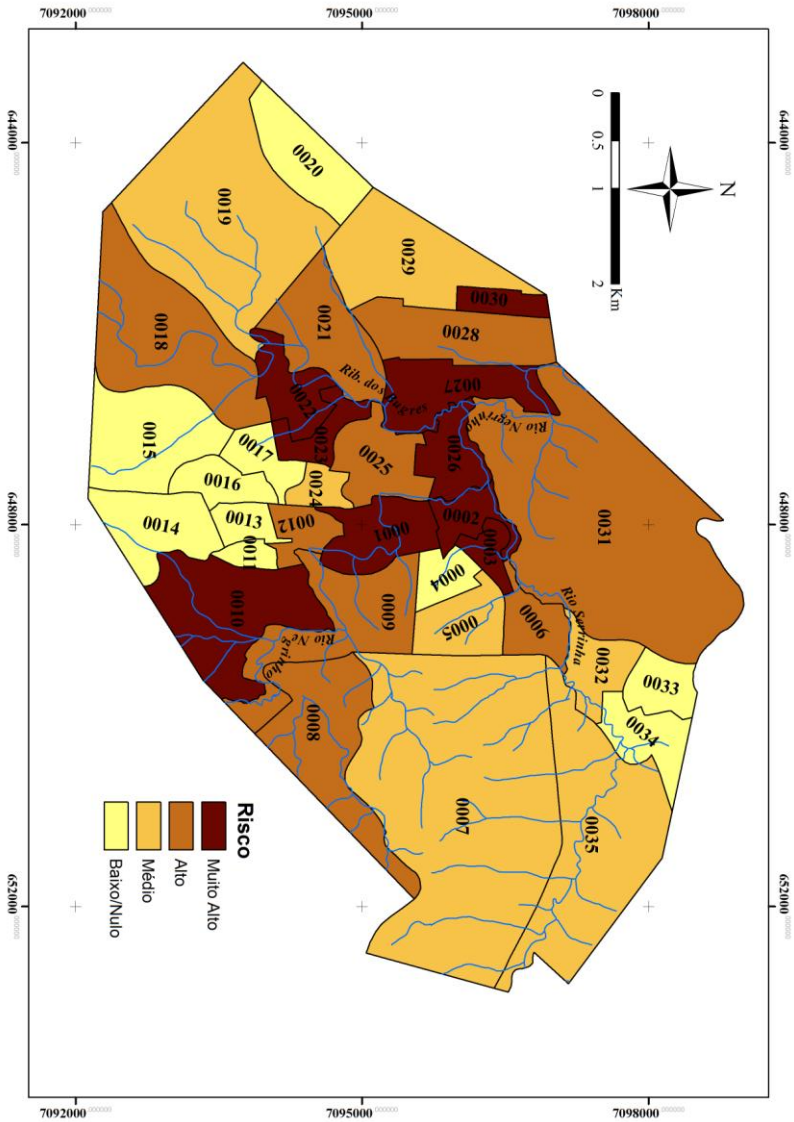


Figura 6.34 – Mapa de Risco da Área Urbana de Rio Negrinho - SC

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho teve como objeto de estudo as inundações em Rio Negrinho sob a ótica dos desastres naturais. Para isto, foram realizadas análises de risco, perigo e vulnerabilidade.

As inundações, como processos físicos, foram analisadas através do modelo HEC-RAS. Este modelo tem sido usado em todo o mundo para análise de inundações, principalmente por ser gratuito, com uma interface amigável, requerer poucos dados de entrada e possuir resultados satisfatórios. Este modelo simula como diferentes vazões irão se comportar ao longo das seções da planície de inundação, utilizando para isto o coeficiente de rugosidade, gradiente de declividade e geometria das seções. Os dados de entrada, dessa maneira, são factíveis de ser obtidos. A performance deste modelo vai depender da qualidade dos dados de entrada, especialmente da base cartográfica disponível. Na bacia do rio Negrinho, a única base cartográfica que abrange toda a área esta na escala 1:50.000. Estudos de inundação com esta base são muito generalizados. Feições necessárias para realizar as simulações como margens dos canais, linha central do canal, ente outras não poderiam ser estabelecidas com precisão. Dessa maneira, o estudo com uma base de poucos detalhes seria muito impreciso, podendo ser considerado apenas de carácter preliminar. Por outro lado, uma base de detalhes permite adquirir uma grande quantidade de feições geométricas, realizando assim simulações com resultados significativos.

Um dos pontos negativos observados no presente estudo através do HEC-RAS são as generalizações do coeficiente de rugosidade. Em uma seção da planície de inundação que possui diferentes usos do solo, o modelo faz uma média da rugosidade, não condizendo com a realidade. Além disso, dentro do presente estudo, algumas feições geométricas como as pontes não foram consideradas. Realizou-se assim um estudo/simulação simplificado.

Escolheu-se essa simplificação pela falta de dados na bacia do rio Negrinho. Dentro da bacia há apenas uma estação de medição de chuva e duas seções de régua, e em apenas uma dela há dados históricos. E mesmo essa série histórica é pequena, apenas 7 anos. Outra consideração é que não há nenhum tipo de medição nos rios Serrinha e dos Bugres. Apesar destas dificuldades as simulações foram realizadas, mesmo envolvendo incertezas.

Forma determinados através da distribuição de Gumbel 5 vazões para os respectivos períodos de retorno: 10, 50, 100, 200 e 500 anos. A partir destas vazões foram determinadas através do HEC-RAS as áreas de inundações na área urbana de Rio Negrinho. Não foi observado uma significativa diferença na magnitude das inundações para estes períodos de retorno, o que reflete a pouca quantidade de dados disponíveis na bacia. Para um período de retorno, foi obtido uma vazão de $90\text{m}^3/\text{s}$ e uma área inundada de $0,98\text{ km}^2$. Para o período de retorno de 500 anos obteve-se a vazão de $161\text{m}^3/\text{s}$ e a área de $1,25\text{ km}^2$. Nota-se que a diferença entre as áreas inundáveis foi de apenas $0,27\text{ km}^2$, ou seja, uma inundações de menor magnitude inundará uma área semelhante a uma de maior magnitude.

Apesar da pouca quantidade de dados hidrológicos, a simulação hidrológica se mostrou uma boa alternativa para o estudo das inundações, pela facilidade de tratamento dos dados e obtenção de resultados.

Para análise de risco, optou-se por setorizar a área urbana. Para isto, foi utilizada a divisão territorial proposta pelo IBGE que, para a coleta do censo, segmenta a área urbana em 35 setores censitários. Estes setores censitários foram a unidade de análise do risco, que para determiná-lo foi feito a análise do perigo e vulnerabilidade.

Observando as diretrizes do Plano Diretor, o mesmo qualifica como área inundada as terras situadas abaixo da cota 792 m. Cota esta atingida pelas duas inundações de maior magnitude (1983 e 1992). Assim, estas áreas foram delimitadas como áreas inundáveis, para as quais estimou-se um índice de perigo, denominado Perigo Estimado (PE) que foi determinado pela relação entre a área abaixo da cota 792 m e a área total de cada setor. Nesta etapa, os principais rios da bacia foram analisados, o rio Negrinho, rio dos Bugres e o rio Serrinha. Os setores adjacentes ao rio Negrinho foi os que apresentaram maior índice de perigo, principalmente os setores 0009 e 0001, com 58% e 49% respectivamente.

Construiu-se também um índice de vulnerabilidade, utilizando para isto os dados coletados pelo IBGE durante o censo de 2000. Estes dados são coletadas em todo o Brasil, observando os mesmos critérios e procedimentos metodológicos. Com isso, este índice pode ser aplicado em qualquer área urbana de qualquer município catarinense, ou até mesmo brasileiro.

O índice de vulnerabilidade foi construído utilizando 6 variáveis que representam aspectos demográficos (concentração populacional), de

educação, renda e dependência (idade). O setor que apresentou a maior vulnerabilidade foi o 0030, que possui o maior valor em 5 das 6 variáveis. Notou-se também que os setores adjacentes ao 0030 também apresentaram vulnerabilidade alta e muito alta. Assim, na porção Leste da área urbana predominaram os setores de vulnerabilidade alta e muito alta. Na porção Oeste e Sul predominaram setores de vulnerabilidade baixa e média. Assim, é possível identificar os setores/locais mais desenvolvidos na área urbana e os menos desenvolvidos. Dessa maneira, o índice de vulnerabilidade pode ser um indicados para locais onde deve-se priorizar políticas publicas de habitação, educação, entre outras.

Após a construção destes dois índices, determinou-se o risco pela relação entre perigo e vulnerabilidade. Assim, características físicas e sociais foram integradas na análise do risco. Observou-se que a vulnerabilidade não desempenhou papel fundamental na variação do risco. Isto porque há áreas que possuem alta vulnerabilidade, mas não são áreas inundáveis, ou seja, o perigo é baixo/nulo. O perigo nestes casos tem um grande peso na determinação de risco. A utilização do PE pela sociedade neste caso deve ser feita com cautela, porque áreas que podem não ser inundáveis foram tratadas como tal. Por outro lado, a sua aplicação traz uma margem de segurança, pois serviços básicos como postos de saúde, escolas, creches, e demais serviços básicos podem ser estabelecidos em setores onde o PE é baixo. A normalidade do município, neste caso, não seria afetada caso ocorresse uma inundação severa.

O presente trabalho buscou construir uma metodologia plausível de ser aplicável em uma bacia com poucos dados, buscando a mitigação e prevenção das inundações. Utilizando dados sociais e ambientais, a presente metodologia pode servir de subsídios para futuras políticas públicas. O presente trabalho também demonstra a necessidade de mais dados hidrológicos para realizar simulações de inundações de diferentes magnitudes. A aplicação do modelo HEC-RAS se mostrou relativamente simples. Porém a falta de dados impede que os seus resultados sejam validados e sirvam de subsídios para os tomadores de decisão.

Em Rio Negrinho as inundações têm ocorrido com frequência e certamente ocorrerão no futuro. Estudos mais aprofundados, como determinação de diferentes cotas de inundações em diferentes locais da área urbana através de levantamentos topográficos, medições de vazões, estabelecimento de curvas-chaves para diferentes seções do rio Negrinho, Bugres e Serrinha são necessários para o correto

gerenciamento das inundações neste município. O estabelecimento de um monitoramento contínuo de dados de chuva, bem como análises das constantes modificações no uso e ocupação do solo, além de estudos pedológicos mais aprofundados também podem ser incluídos em futuras análises de risco.

Em 2010, está previsto a realização de mais um censo. Futuros trabalhos poderão mensurar através dos dados coletados neste censo a vulnerabilidade de Rio Negrinho em 2010 e compará-la com a estabelecida no presente trabalho, ou seja, para o ano de 2000. Dessa maneira, ter-se-á a evolução da vulnerabilidade ao longo de uma década. Com base nesta análise, políticas públicas poderão ser estabelecidas e priorizadas em diferentes localidades do município. Enfocando aspectos mais físicos, pode-se estabelecer a vulnerabilidade individual, ou seja, os tipos de casa, padrões de construção, localização adequada de infra-estruturas, hospitais, escolas, entre outros, para se tomar medidas eficazes e reduzir os prejuízos relacionados às inundações.

8. BIBLIOGRAFIA

- ACKERMAN, C. T. Application of HEC-GeoRAS to the Tres Rios, Arizona Feasibility Study. **Water Resources**, n. 104, 2000. p. 181-190.
- ADGER, W. N. **Indicators of social and economic vulnerability to climate change in Vietnam**. Centre for Social and Economic Research on the Global Environment - CSERGE Working Paper GEC 98-02, 1998. 42 p.
- ALCANTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disaster in developing countries. **Geomorphology**, v. 47, 2002. p. 107-124.
- ALEXANDER, D. The study of natural disasters, 1977-1997: some reflections on a changing filed of knowledge. **Disaster**, v. 21, n. 4, 1997. p. 284-304.
- ALKEMA, D. **Simulating floods - on the application of a 2D-hydraulic model for flood hazard and risk assessment**. 195 p. PhD Dissertation. University of Utrecth. 2007.
- ALKEMA, D.; MIDDELKOOP, H. The Influence of Floodplain Compartmentalization on Flood Risk within the Rhine - Meuse Delta. **Natural Hazards**, n. 36, 2005. p. 125-145.
- ANDJELKOVIC, I. Guidelines on non-structural measures in urban flood management. IHP, **Technical Documents in Hydrology** n. 50, UNESCO, Paris. 2001. 87p.
- ANDRADE, M. I.; SCARPATI, O. E. Recent changes in flood risk in the Gran La Plata, Buenos Aires province, Argentina: causes and management strategy. **GeoJournal**, v. 70, n. 4, 2007. p. 245-250.
- AYSAN, Y. Keynote paper: Vulnerability assessment In: MERRIMAN, P. A.; BROWITT, C. W. A. (ed.) **Natural Disasters: Protecting Vulnerable Communities**, Londres: Telford, 1993. p. 1-14.

- AZAR, D.; RAIN, D. Identifying population vulnerable to hydrological hazards in San Juan, Puerto Rico. **GeoJournal**, v. 69, n° 1, p. 23-43.
- BACK, A. J. **Chuvas intensas e chuvas de projeto de drenagem superficial no estado de Santa Catarina**. Florianópolis: EPAGRI. 2002. 65p.
- BADILLA, R. A. **Flood Modelling in Pasig-Marikina River Basin**. 71p. MSc Dissertation. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede, The Netherlands, 2008.
- BARROCA, B.; BERNARDARA, P.; MOUCHEL, J. M.; HUBERT, G. Indicators for identification of urban flooding vulnerability. **Natural Hazards and Earth System Science**. n. 6, 2006. p. 553-561.
- BENSON, C.; CLAY E. J. Disasters, Vulnerability and the Global Economy. In: KREIMER, A.; ARNOLD, M. (ed.) **The Future Disaster Risk: Building Safer Cities**, **Disaster Risk Management Series** n. 3, Washington, D.C. 2003. p. 3-32.
- BIRKMANN, J. Indicators and criteria for measuring vulnerability: Theoretical bases and requirements. In: BIRKMANN, J. (ed.) **Measuring vulnerability to natural hazards: towards disaster resilient societies**. New York: United Nations University, 2006. p. 55-77.
- BROWN, J. D.; DAMERY, S. L. Managing flood risk in the UK: towards an integration of social and technical perspectives, **Transactions of the Institute of British Geographers** n. 27, 2002. p. 412-426.
- CALÇADA, M.; PORTELA, M; MATOS, J. Análise de Cheias e Delimitação de Zonas Inundáveis em Timor-Leste: Abordagem por Modelação Geográfica. In: **7º Congresso da Água**, Portugal, 2003
- CANNON, T.; TWIGG, J.; ROWELL, J. **Social Vulnerability, Sustainable Livelihoods and Disasters**. Department for International Development, 2003. 63 p.

- CASTILHO, A. S.; PINTO, E. J. A.; OLIVEIRA G. S. R., Utilização do Modelo Hidráulico Associado a um SIG para Definição de Áreas Inundáveis na Cidade de Governador Valadares - MG. In: **XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, ABRH: João Pessoa, 2005
- CHEN, K.; MCANENEY, J.; BLONG, R.; LEIGH R.; HUNTER, L.; MAGILL, C. Defining area at risk and its effect in catastrophe loss estimation: a dasymetric mapping approach. **Applied Geography**, v. 24, 2004. p. 97-117.
- CHOW, V. T. **Handbook of applied hydrology: a compendium of water-resources technology**. New York: McGraw-Hill, 1964.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. 1ª ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1999. 236p.
- CLARK, G. E.; MOSER, S. C.; RATICK, S. J.; DOW, K.; MEYER, W. B.; EMANI, S.; JIN, W., KASPERSON, J. X.; KASPERSON, R. E.; SCHWARZ, H. E. Assessing the vulnerability of coastal communities to extreme storms: the case of revere, MA., USA. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, n 3, 1998. p. 59-82.
- COPPOLA, D. P. **Introduction to international disaster management**. Oxford: Elsevier, 2007. 573 p.
- CRID - REGIONAL DISASTER INFORMATION CENTER LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN. **Disaster Controlled Vocabulary**. San José: CRID, 2001, 223 p.
- CUTTER, S. L.; BORUFF, B. J.; SHIRLEY, W. L.; Social vulnerability to environment hazards. **Social Science Quarterly**, v.84, n.2 2003. p. 242-261.
- CUTTER, S. L.; MITCHELL, J. T.; SCOTT, M. S.. Revealing the Vulnerability of People and Places: A Case Study of Georgetown County, South Carolina. **Annals of the Association of American Geographers**, n. 90, v. 4, 2000. p. 713-737.

- DEWAN, A. M.; ISLAM, M. M.; KUMAMOTO, T.; NISHIGAKI, M. Evaluating Flood Hazard for Land-Use Planning in Greater Dhaka of Bangladesh Using Remote Sensing and GIS Techniques. **Water Resource Management**, n. 21, 2007. p. 1601-1612.
- DNPM - DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). Coordenadoria de Recursos Minerais. **Mapa geológico do Estado de Santa Catarina: escala 1:500.000**. Florianópolis, 1986.
- DWYER, A.; ZOPPOU, C.; NIELSEN, O.; DAY, S.; ROBERTS, S. **Quantifying Social Vulnerability: A methodology for identifying those at risk to natural hazards**. Geoscience Australia Record 2004/14, 2004. 101 p.
- ECLAC - ECONOMIC COMMISSION FOR LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN. **Handbook for Estimating the Socio-economic and Environmental Effects of Disasters**. World Bank: Washington D.C. 2003. 357p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de Santa Catarina**. Boletim de Pesquisa nº6. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1998. 721p.
- EMBRAPA. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2006. 306 p.
- EM-DAT – **Emergency Disaster Data Base**. Disponível em <http://www.emdat.be/>. Acesso em 12 de Fevereiro de 2006.
- ENOMOTO, C. F. **Método para elaboração de mapas de inundação estudo de caso na bacia do rio Palmital, Paraná**. Curitiba. 122 f. Dissertação (Mestrado em Eng de Recursos Hídricos). Universidade Federal do Paraná. 2004
- FRANK, B.; PINHEIRO, A. (org.) **Enchentes na Bacia do Itajaí: 20 anos de experiência**. Blumenau: Edifurb, 2003. 237 p.

- FRIESECKE, F. Precautionary and Sustainable Flood Protection in Germany – Strategies and Instruments of Spatial Planning. Proceedings of 3rd FIG Regional Conference, Jakarta, 2004. **Proceedings...** Jakarta: 2004.
- HAMMOURI, N.; EL-NAQA, E. Hydrological modeling of ungauged wadis in arid environments using GIS: a case study of Wadi Madoneh in Jordan. **Revista Mexicana de Ciências Geológicas**, v. 24, n. 2, 2007. p. 185-196.
- HATIPOĞLU, M. A.; KESKİN, F.; SEYREK, K. Floodplain delineation in Mugla-Dalaman plain using Gis based River Analysis System. In: International Congress River Basin Management. Turkey, 2007. **Proceedings...** Turkey: 2007. p. 160-170.
- HEC - HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER. **HEC-RAS River Analysis System, User's Manual, Version 4.0**. US Army Corps of Engineers, Davis, USA, 2008a. 747p.
- HEC - HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER. **HEC-GeoRAS GIS Tools for Support of HEC-RAS using ArcGIS**. US Army Corps of Engineers, Davis, USA, 2008b. 246 p
- HEC - HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER. **HEC-RAS River Analysis Hydraulic Reference Manual, Version 4.0**. US Army Corps of Engineers, Davis, USA, 2008c. 411 p.
- HERRMANN, M. L. P.; KOBİYAMA, M.; MARCELINO, E. V. Inundação gradual. In: HERRMANN, M. L. P. (Org.). **Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: IOESC , 2007. p. 89-92
- HILL, A. A.; CUTTER, S. L. Methods for Determining Disaster Proneness. In: CUTTER, S. L. (ed). **American Hazardscapes: The Regionalization of Hazards and Disasters**. Washington, D.C.: National Academy of Sciences, 2001. p. 13-36.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE Cidades – Rio Negrinho. Disponível em [www.ibge.gov.br], acesso em fevereiro de 2009.

ISDR - INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION. **Visions of Risk: A Review of International Indicators of Disaster Risk and its Management**. London: Inter-Agency Task force on Disaster Reduction – Working Group 3, 2004. 73 p.

ISDR - INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION. **Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives**. Preliminary version. Geneva, Switzerland: UN/ISDR. 2002.

JOLY, F.; BOCQUET, G.; BRAVARD; J-P.; CHARDON, M.; KIEFFER, G.; PASKOF, R.; VOGT, J. France. In: EMBLETON, C.; EMBLETON-HAMANN, C. (Ed). **Geomorphological Hazards of Europe (Developments in Earth Surface Processes)**, 1997. p. 115-145.

JORNAL PERFIL. Rio Negrinho, 30 set. 2009. Ano XVI, Edição 2524.

KLEIN, R. M. **Mapa fitogeográfico do estado de Santa Catarina**. Itajaí: IOESC, 1978. 24 p.

KOBIYAMA, M.; MANFROI, O. J. Importância da modelagem e monitoramento em bacias hidrográficas. In: **Curso de Extensão : O Manejo de Bacias Hidrográficas sob a Perspectiva Florestal**, 1999, Curitiba. Apostila do curso. Curitiba: Curso de Eng. Florestal - UFPR, 1999. p.111-118

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVEZ, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F.; RUDORFF, F. M. **Prevenção de Desastres Naturais: Conceitos Básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006. 109p.

KOHLER, A.; JÜLICH, S.; BLOEMERTZ, L. **Risk Analysis – a basis for disaster risk management**. GTZ, Eschborn, 2004. 76p.

- KRON, W. Keynote lecture: Flood risk = hazard x exposure x vulnerability. Proceedings of Second International Symposium of Flood Defense, Beijing, 2002. **Proceedings...** Beijing: 2002. p. 82-97.
- KUMPULAINEN, S. **Vulnerability concepts in hazard and risk assessment. Natural and technological hazards and risks affecting the spatial development of European regions.** Geological Survey of Finland, Special Paper 42, 2006. p. 64-74.
- LASTRA, J.; FERNÁNDEZ, E.; DÍEZ-HERRERO, A.; MARQUÍNEZ, J. Flood hazard delineation combining geomorphological and hydrological methods: an example in the Northern Iberian Peninsula. **Natural Hazards** n. 45, 2008. p. 277-293.
- MARANDOLA JR, E.; HOGAN, D. J. Natural Hazards: o estudo geográfico dos riscos e perigos. **Ambiente & Sociedade**, v. VII n.º 2, 2004. p. 95-109.
- MARCELINO, E. V. **Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos básicos.** Santa Maria: CRS/INPE, 2007. 20p.
- MARCELINO, E. V.; GOERL, R. F.; RUDDORF, F. M. Distribuição espaço-temporal de inundações bruscas em Santa Catarina (Período 1980-2003). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p. 554-564. (CD-ROM).
- MARCELINO, E. V., NUNES, L. H., KOBIYAMA, M. Mapeamento de risco de desastres naturais do estado de Santa Catarina. **Caminhos da Geografia** (UFU), Uberlândia, v.7, n.17, 2006. p.72-84,
- MARFAI, M. A. **GIS Modelling of River and Tidal Flood Hazards in a Waterfront City. Case study: Semarang City, Central Java, Indonesia.** 123 p. MSc Dissertation. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede, The Netherlands, 2003.
- MATTEDI, M. A.; BUTZKE, I. C. A relação entre o natural e o social nas abordagens de hazards e de desastres. **Ambiente & Sociedade**, n.º 9, 2001. p. 93-114

- MONTEIRO, C. A. F. **Clima e excepcionalismo: conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico.** Florianópolis: Ed. da UFSC, 1991. 241p
- MONTZ, B.; GRUNTFEST, E. Changes in American urban floodplain occupancy since 1958: the experiences of nine cities. **Applied Geography** n. 6, 1987. p. 325-338.
- MOORE, R. J.; BELL, V. A.; JONES, D. A. Forecasting for flood warning. **Comptes Rendus Geosciences**, v. 337, 2005. p. 203-217.
- MUSSER, L. **Vulnerability Bibliography**, Center for Science and Technology Policy Research, 2002. 10p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Facing Hazards and Disasters: Understanding Human Dimensions.** Committee on Disaster Research in the Social Sciences: Future Challenges and Opportunities, Washington, D. C.: The National Academies Press, 2006. 409 p.
- NEPPEL-DALAGNOL, E. F. **Subsídios para o zoneamento da APA do Rio dos Bugres, Rio Negrinho - SC, com vistas ao aproveitamento de água para abastecimento público.** Florianópolis, 2001. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Departamento de Geociências.
- NEPPEL-DALAGNOL, E. F. **Caracterização e análise das enchentes em Rio Negrinho – SC: no período de 1977 a 1995.** 1999. 59p. Monografia (Bacharelado em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina.
- OJEDA, A. O. Crecidas e inundaciones como riesgo hidrológico: un planteamiento didáctico. **Lurralde**, n. 20, 1997. p. 261-283.
- OLIVEIRA, V. S. **Integração SIG e modelos de simulação de áreas inundáveis: bacia do rio Pararangaba.** 2003. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

- OLIVEIRA, E. L. A.; ROBAINA, L. E. S.; RECKZIEGEL, B. W. Metodologia utilizada para o mapeamento de áreas de risco geomorfológico: bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria – RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p. 248-261. (CD-ROM)
- OLIVEIRA, R. A. F. **Propagação de ondas de despacho e controle de inundações na bacia do Paraíba do Sul.** 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2005
- PAPPENBERGER, F.; BEVEN, K.; FRODSHAM, K.; ROMANOWICZ, R.; MATGEN, P. Grasping the unavoidable subjectivity in calibration of flood inundation models: A vulnerability weighted approach. **Journal of Hydrology** n. 333, 2007. p. 275-287.
- PELLING, M. **The Vulnerability of Cities: Natural Disasters and Social Resilience.** London: Earthscan, 2003. 256 p.
- PENNING-ROWSELL, E. C.; PARKER, D. J, The indirect effects of floods and benefits of flood alleviation: evaluating the Chesil Sea Defence Scheme. **Applied Geography**, n. 7, 1987. p. 263-288.
- PINE, J. C. **Natural Hazard Analysis: Reducing the impact of disasters.** Florida: Taylor & Francis Group, 2008. 314 p.
- PLATE, E. J. Flood risk and flood management. **Journal of Hydrology**, v. 267, 2002. p. 2-11.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO NEGRINHO. 2009. Disponível em [www.rionegrinho.sc.gov.br], *acesso em fevereiro de 2009.*
- RAHMAN, M. Z. A. Digital Surface Model (DSM) **Construction and Flood Hazard Simulation for Development Plans in Naga City, Philippines.** 145p. MSc Dissertation. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede, The Netherlands. 2006.

- RAMOS, C. S.; SANCHEZ, M. C. Estudo metodológico de classificação de dados para cartografia temática. *Geografia*, v. 25, n. 2, p. 23-52, 2000
- RECKZIEGEL, B. W. **Levantamento dos Desastres Naturais causados por eventos adversos no Estado do Rio Grande do Sul no período de 1980 à 2005**. Santa Maria 261 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, 2007.
- RENNÓ, C. R.; SOARES, J. V. **Modelos hidrológicos para gestão ambiental**. Relatório técnico parcial. INPE, 2001. 65p.
- RUGAI, D. S. **Combined Hydrological and Hydrodynamic modelling for flood hazard assessment; A case study of upper Kaluganga Catchment, Ratnapura, Sri Lanka**. 100p. MSc Dissertation. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede, The Netherlands. 2008.
- SANTA CATARINA. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. **Atlas de Santa Catarina**. Florianópolis: GAPLAN/SUEGI; [Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro], 1986. 173p.
- SAURI´-PUJOL, D.; ROSET-PAGE`S, D, RIBAS-PALOM, A; PUJOL-CAUSSA, P. The ‘escalator effect’ in flood policy: the case of the Costa Brava, Catalonia, Spain. **Applied Geography**, n. 21, 2001. p. 127–143.
- SCHOEFFEL, E. C. **Relação cidade e natureza na evolução urbana da cidade de Rio Negrinho/SC associada à ocupação de áreas de risco de enchentes**. Monografia, 76p. (Especialização em Cidade, Meio Ambiente e Políticas Públicas). Universidade Federal do Paraná, 2004.
- SILVA, L. C.; BORTOLUZZI, C. A. (ed.) **Texto explicativo para o Mapa Geológico do estado de Santa Catarina – E = 1:500.000**. Florianópolis: 11º Distrito do DNPM, 1987. 216 p.

- SCHMIDT-THOMÉ, P.; JARVA, J. **The spatial effects and management of natural and technological hazards in general and in relation to climate change.** ESPON, 3st Interim Report, 2004. 15 p.
- SCHMIDT-THOMÉ, P.; GREIVING, S.; KALLIO, H.; FLEISCHHAUER, M.; JARVA, J. Economic risk maps of floods and earthquakes for European regions. **Quaternary International**, n. 150, 2006. p. 103-112.
- SCHUMM, S. A. Erroneous perceptions of fluvial hazards. **Geomorphology**, n. 10, 1994. p. 128-138.
- SCOTTISH EXECUTIVE ENVIRONMENT GROUP. **Requirements for Flood Mapping: Scoping Study.** Environment Group Research Report 2004/03. 79p.
- SECRETARIA MUNICIPAL DO PLANEJAMENTO. **Plano Diretor de Desenvolvimento Ambiental Urbano e Rural de Rio Negrinho.** Prefeitura Municipal de Rio Negrinho: Secretaria Municipal Do Planejamento. 2006. 30 p.
- SHIDAWARA. M. Flood hazard map distribution. **Urban Water**, 1, 1999. p. 125-129
- SIMPSON, D. M.; HUMAN, R. J. Large-scale vulnerability assessments for natural hazards. **Natural Hazards**, v. 47, n. 2, 2008, p. 143-155.
- SMITH, K. **Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster**, 2ed. London: Routledge, 1996. 389 p.
- STEPHENSON, D. Integrated flood plain management strategy for the Vaal. **Urban Water**, v. 4, 2002. p. 425-430
- TAVARES, P. R. L.; CASTRO, M. A. H. Simulação de Perfis D'água e Planícies de Inundação Relacionados a Diferentes Cenários de Urbanização. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: 2005. (CD-ROM)

- TELESCA, L. Time-clustering of natural hazards. **Natural Hazards**, n.40, 2007. p. 593-601.
- TOBIN, G. A.; MONTZ, B. E. **Natural hazards: explanation and integration**. New York: The Guilford Press, 1997. 388 p.
- TODINI, E. An operational decision support system for food risk mapping, forecasting and management. **Urban Water**, v. 1, 1999. p. 131-143.
- TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. 1ª ed. Porto Alegre: Ed. Universidade /UFRGS/ Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1998. 669p.
- TUNG, Y. Keynote lecture: Risk-Based design of flood defense system. Proceedings of Second International Symposium of Flood Defense, Beijing, 2002. **Proceedings...** Beijing: 2002. p. 71-81
- TWING, J. Disaster risk reduction: Mitigation and preparedness in development and emergency programming. London: Humanitarian Practice Network. 2004. 337p. UN (United Nations). **Guidelines for reducing flood losses**. Geneva: UN. 2004. 83p.
- UN (United Nations). **Guidelines for reducing flood losses**. Geneva: UN. 2004. 83p.
- UNDP – United Nations **Development Program. Reducing disaster risk: a challenge for development**. New York: UNDP, 2004. 130p.
- VENDRAME, I. F; LOPES, W. A. B. Análise do crescimento urbano e seus efeitos na mudança da dinâmica do escoamento superficial da bacia do Pararangaba. In: XII SBSR - Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia. **Anais...** Goiânia: 2005. v. 1. p. 2555-2562.
- WEICHSELGARTNER, J. Disaster mitigation: the concept of vulnerability revisited. **Disaster Prevention and Management**. v. 10, n. 2, 2001. p. 85-94.

YALCIN, G.; AKYUREK, Z. Analysis Flood Vulnerable Areas with Multicriteria Evaluation. In: Proceedings of XX International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Congress Istanbul, 2004. **Proceedings...** Istanbul: 2004. p. 359-364.

ZERGER, A.; WEALANDS, S. Beyond modelling: linking models with GIS for flood risk management. **Natural Hazards**, v. 33, n. 2, 2004, p. 191-208.