



**UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU-FURB
CENTRO DE OPERAÇÃO DO SISTEMA DE ALERTA DO
VALE DO ITAJAÍ-CEOPS
INSTITUTO FURB**

ACORDO DE PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS 007-2016:

**UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU
ASSOCIAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DO MÉDIO VALE DO ITAJAÍ**

RELATÓRIO FINAL:

**ESTUDO HIDROLÓGICO E MAPEAMENTO DE
PLANEJAMENTO DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS À
INUNDAÇÃO NO MUNICÍPIO DE RIO DOS CEDROS – SC**

COORDENAÇÃO: DIRCEU LUIS SEVERO

MARCOS RODRIGO MOMO

RIO DOS CEDROS, DEZEMBRO DE 2016.

**UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU-FURB
CENTRO DE OPERAÇÃO DO SISTEMA DE ALERTA DO
VALE DO ITAJAÍ-CEOPS
INSTITUTO FURB**

ACORDO DE PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS 007-2016:

**UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU
ASSOCIAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DO MÉDIO VALE DO ITAJAÍ**

RELATÓRIO FINAL:

**ESTUDO HIDROLÓGICO E MAPEAMENTO DE
PLANEJAMENTO DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS À
INUNDAÇÃO NO MUNICÍPIO DE RIO DOS CEDROS – SC**

PREFEITO DE RIO DOS CEDROS E PRESIDENTE DA AMMVI: FERNANDO TOMASELLI

SECRETÁRIO EXECUTIVO: JOSÉ RAFAEL CORRÊA

REITOR DA FURB: PROF. DR. JOÃO NATEL POLLÔNIO MACHADO

COORDENAÇÃO: PROF. DR. DIRCEU LUIS SEVERO E PROF. MSC. MARCOS R. MOMO

CONSULTORIA TÉCNICA: MSC. ADILSON LUIZ NICOLETTI

DIRETOR DO INSTITUTO FURB: PROF. DR. PAULO CESAR DE JESUS

GERENTE DE PARCERIAS: PROF. MSC. ADEMAR DO AMARAL JR.

Dirceu Luís Severo
Coordenador CEOPS/FURB

Marcos Rodrigo Momo
CEOPS/FURB

RIO DOS CEDROS, DEZEMBRO DE 2016.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
1.1 ANTECEDENTES.....	8
1.2 OBJETIVOS.....	9
1.3 PRODUTOS ENTREGUES.....	9
1.3.1 Relatório final do projeto.....	9
1.3.2 Mapas digitais da área suscetível à inundação.....	10
2 ESTUDO HIDROLÓGICO.....	11
2.1 MEDIÇÕES DAS PRECIPITAÇÕES.....	11
2.2 FREQUÊNCIA DE TOTAIS PRECIPITADOS.....	12
2.3 SÉRIES HISTÓRICAS.....	14
2.4 FREQUÊNCIA VERSUS VALOR.....	14
2.5 DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL.....	15
2.6 RISCO.....	17
2.7 ANÁLISES DAS CHUVAS INTENSAS.....	18
3 ATIVIDADES REALIZADAS.....	20
3.1 SÉRIES PLUVIOMÉTRICAS.....	20
3.2 ANÁLISE DAS CHUVAS INTENSAS.....	33
3.3 ANÁLISE DO PERÍODO DE RETORNO PARA COTAS MÁXIMAS.....	34
4 MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À INUNDAÇÃO.....	35
4.1 MAPEAMENTO PARA O ALERTA.....	35
4.2 MAPEAMENTO PARA O PLANEJAMENTO.....	36
5 METODOLOGIA HAND.....	38
5.1 ETAPAS DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA HAND.....	38
5.1.1 Correção do MDT/ fluxo de drenagem.....	38
5.1.2 Obtenção da rede de drenagem.....	39
5.1.3 Aplicação do algoritmo HAND.....	40
5.2 ÁREA DE ESTUDO.....	41
5.3 DADOS UTILIZADOS.....	42
5.4 MÉTODOS.....	44
5.4.1 Referencias cota hidrológica e a cota topográfica.....	44

5.4.2 Consistência dos dados.....	44
5.4.3 Análise dos pontos em desacordo por superestimação de áreas.....	45
6 CONCLUSÃO.....	56
REFERÊNCIAS.....	57
ANEXO I – FOTOS DO TRABALHO DE CAMPO: PONTOS VISITADOS.....	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Pluviômetro.....	12
Figura 2: Pluviógrafo.....	12
Figura 3: Mapa da bacia hidrográfica do rio dos Cedros e localização das estações.....	21
Figura 4: Precipitação Média para o período 1941-2015 – ANA 02649008 (Arrozeira).....	23
Figura 5: Precipitação Média para o período 1950-1994 – ANA 02649030 (Usina Cedros).....	25
Figura 6: Precipitação Média para o período 1957-1994 – ANA 02649031 (Pinhal).....	27
Figura 7: Precipitação Média para o período 1945-1994 – ANA 02649032 (Usina Palmeiras).....	29
Figura 8: Precipitação Média para o período 1984-2015 – ANA 02649065 (Barra do Avencal).....	30
Figura 9: Reta Ajustada aos valores de cotas fluviométricas máximas anuais para o período 1931-2015 – Estação 83675000 (Arrozeira).....	34
Figura 10: Algoritmo para definir a direção para o fluxo de drenagem para cada ponto.....	39
Figura 11: Calculo da área acumulada para definir a rede de drenagem.....	40
Figura 12: Localização do município de Rio dos Cedros/SC.....	42
Figura 13: Mapeamento das áreas suscetíveis à inundação simulada na cota de 8,96 m e os dados consistidos em campo.....	45
Figura 14: Áreas em desacordo por superestimação.....	46

LISTA DE TABELA

Tabela 2.1: Frequências observadas.....	14
Tabela 2.2: Tabela de referência.....	17
Tabela 3.1: Estações pluvio-fluviométricas da ANA.....	20
Tabela 3.2: Precipitação Mensal: Estação 02949008.....	22
Tabela 3.3Precipitação Mensal: Estação 02949030.....	24
Tabela 3.4Precipitação Mensal: Estação 02949031.....	26
Tabela 3.5: Precipitação Mensal: Estação 02949032.....	28
Tabela 3.6: Precipitação Mensal: Estação 02949065.....	30
Tabela 3.7: Estatísticas das séries de precipitação (mm) das estações localizadas na bacia do rio dos Cedros.....	32
Tabela 3.8: Precipitações máximas de 1 dia (mm), para vários períodos de retorno usando a distribuição de Gumbel.....	33
Tabela 3.9: Precipitações máximas para várias durações e para vários períodos de retorno usando a distribuição de Gumbel.....	33
Tabela 3.10: Período de Retorno para Cotas Fluviométricas.....	34

1 INTRODUÇÃO

A pressão exercida pelo aumento populacional tem ocasionado a ocupação pela população de áreas pertencentes às planícies de inundação. Além disso, a ocupação desordenada e o processo de urbanização e industrialização, aliado à falta de planejamento urbano, vêm fazendo com que o número de registros de desastres aumente.

Este problema é comumente observado nas regiões urbanas, fazendo com que ocorra um aumento significativo de áreas urbanas com vulnerabilidade à inundação. Vale salientar que a enchente é um fenômeno hidrológico natural que consiste no aumento do nível dos rios, além da sua vazão normal, enquanto que a inundação é o transbordamento das águas sobre as áreas próximas ao rio principal também conhecidas como áreas ribeirinhas ou planícies de inundação.

Para diminuir a vulnerabilidade nestas áreas e reduzir danos materiais e humanos é importante a realização de estudos que permitam realizar ações de planejamento e gestão das áreas de riscos. Neste sentido, os mapas de riscos são fundamentais, pois além de auxiliar na análise para a minimização de danos, podem apoiar na mitigação dos desastres naturais.

Este instrumento de planejamento pode subsidiar as informações para a definição de políticas públicas para na definição de áreas urbanas e respectivos usos, tais como: área para fins comunitários (parques e praças), área industrial, área para moradias, comércio, escolas entre outras. Ou ainda, o mapeamento pode servir de uma base científica para as discussões relacionadas às definições de políticas para a preservação de recursos naturais.

Em suma, fornecem informações para o planejamento e gestão do uso e ocupação de áreas no apoio à regulamentação de Leis do Município. Sendo assim, fica evidenciada a importância do mapeamento de áreas suscetíveis à inundação nas áreas urbanas do município.

Para os Municípios que não possuem mapas de risco de inundação, o modelo HAND pode ser utilizado para realizar um mapeamento das áreas com suscetibilidade, simulando a mancha de inundação para várias cotas do tempo de recorrência. Utilizando dados topográficos provenientes de sensoriamento remoto, o modelo HAND permite mais rapidez e menor custo operacional em comparação ao método tradicional.

1.1 ANTECEDENTES

Em outubro de 2015, durante a reunião do Grupo Técnico de Terraplanagem (GTT), foi sugerida a apresentação de um projeto de estudo hidrológico juntamente com o mapeamento de áreas suscetíveis à inundação para os municípios da AMMVI. Desde então, iniciou-se os estudos e a elaboração do projeto *“Mapeamento de áreas suscetíveis à inundação nos municípios da AMMVI e desenvolvimento de uma página Web para visualização dos mapas”*.

Em maio de 2016 foi apresentada à AMMVI, durante a reunião do GTT, a proposta de projeto para os municípios do Médio Vale e que não tinham as informações das áreas de risco.

Esta proposta foi apresentada na Assembleia de Prefeitos realizada em Blumenau, na qual ficou deliberado que inicialmente seria implementado um Projeto Piloto, contemplando inicialmente os municípios de Indaial e Rio dos Cedros. Posteriormente, o projeto poderia estender-se para os demais municípios da AMMVI.

Desta forma, foram realizados os acordos formais entre FURB/AMMVI e FURB/Municípios de Rio dos Cedros e Indaial, para a execução do projeto. Respectivamente, nos dois primeiros municípios de Indaial e Rio dos Cedros. Imediatamente após a efetivação dos acordos, deu-se início às atividades do projeto.

Uma vez obtidas juntamente com a prefeitura municipal, as informações de campo do evento de junho de 2014, quando o nível do rio alcançou 8,96 m na régua de referência, iniciou-se a simulação das áreas urbanas do município. Para fazer a consistência dos dados, foram realizadas duas saídas de campo, onde foram consultados um total aproximadamente de 80 pontos nos quais, efetivamente foram atingidos pelo evento de 2014.

No dia 21/11/2016 foi agendada pela AMMVI uma reunião na prefeitura de Rio dos Cedros para apresentar os resultados preliminares do mapeamento. Nesta reunião foram identificados diversas áreas que estavam em desacordo com a realidade, ou seja, os resultados apresentavam superfícies de inundação superestimadas. Desta forma, os técnicos de Defesa Civil propuseram as melhorias no sentido de corrigir estas áreas.

Uma efetuada as alterações propostas e a edição das áreas no mapa, foi agendada uma nova reunião no dia 05/12/2016 para apresentar os resultados finais do mapeamento das áreas suscetíveis a inundação no município de Rio dos Cedros. Nesta ocasião, juntamente com os técnicos da prefeitura municipal, foi possível fazer a validação dos resultados apresentados, dando assim por

encerrados os trabalhos de edição de áreas. Desta forma, o Prefeito e Presidente da AMMVI Fernando Tomaselli marcou uma cerimônia de entrega do estudo no dia 08/12/2016, juntamente com a Assembleia dos Prefeitos da AMMVI. Nesta oportunidade, foram entregues à AMMVI e à prefeitura municipal de Rio dos Cedros todos os produtos oriundos deste projeto.

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho basicamente consistem na realização de um estudo hidrológicos para determinar o tempo de retorno de cheias para diversas cotas de inundação e o mapeamento das áreas suscetíveis a inundação.

1.3 PRODUTOS ENTREGUES

Os produtos gerados durante a execução deste trabalho e entregues à AMMVI e a prefeitura municipal de Rio dos Cedros são os seguintes:

1.3.1 Relatório final do projeto

- ✓ Descrição da determinação das diferenças altimétricas entre a base de dados espaciais utilizada e a régua de medição do posto fluviométrico;
- ✓ Descrição da verificação da qualidade do ajuste altimétrico e de correções necessárias através do levantamento de pontos que tenham uma correlação com eventos de cheia específicos;
- ✓ Descrição dos resultados obtidos pelo estudo hidrológico;
- ✓ Descrição do levantamento dos dados fluviométricos;
- ✓ Descrição da metodologia para a definição das cotas de cheia para diversos períodos de retorno;
- ✓ Descrição da simulação das áreas de suscetibilidade à inundação;
- ✓ Descrição das atividades de consistência dos dados levantados em campo.

1.3.2 Mapas digitais da área suscetível à inundação

- ✓ Mapas em arquivo digital das simulações de áreas suscetíveis à inundação sem edição, nas classificações HAND de 2 até 20 metros;
- ✓ Mapa impresso em forma de *banner* colorido tamanho A0, com a mancha de inundação simulada na cota 8,96 metros, referente ao evento de junho de 2014.

2 ESTUDO HIDROLÓGICO

A precipitação de chuva nas bacias hidrográficas é drenada para os oceanos através dos rios. Quando a precipitação é intensa a quantidade de água que chega simultaneamente ao rio pode ser superior a sua capacidade de drenagem, resultando na inundação das áreas ribeirinhas.

Os problemas resultantes da inundação dependem do grau de ocupação da várzea pelo homem e da frequência das inundações. Quando a frequência das inundações é baixa, a população ganha confiança e despreza o risco, aumentando significativamente o investimento e a densificação nas áreas inundáveis. Neste caso, geralmente a inundação assume características catastróficas. Este problema tende a se agravar devido ao maior uso do solo para agricultura e ocupação urbana. Como consequência, áreas hoje desocupadas devido a inundação sofrem considerável pressão para serem ocupadas. Além disso, como resultado da urbanização e do desmatamento ocorre aumento do volume de sedimentos nos leitos dos rios e diminuição do tempo de resposta da bacia, aumentando os níveis e agravando o problema da inundação. A ocupação das áreas urbanas impróprias pode ser evitada através do planejamento do uso dos solos das várzeas, o qual deve ser regulado no Plano Diretor Urbano das cidades.

2.1 MEDIÇÕES DAS PRECIPITAÇÕES

A chuva é a altura de água precipitada e acumulada sobre uma superfície plana e impermeável. Ela é avaliada por meio de medidas realizadas em pontos previamente escolhidos, utilizando-se pluviômetros (Figura 1), pluviógrafos (Figura 2) e, atualmente, por plataformas automáticas de coleta de dados. Para a ANA (Agência Nacional de Águas), as coletas realizadas nos pluviômetros são periódicas, geralmente às 7 horas da manhã. As grandezas características da precipitação são as seguintes:

a) Altura pluviométrica: lâmina d'água precipitada sobre uma área, normalmente expressa em milímetros;

b) Intensidade de precipitação: é a relação entre a altura pluviométrica e a duração da precipitação. Geralmente é expressa em mm.h^{-1} ou mm.min^{-1} ;

Figura 1: Pluviômetro.



Figura 2: Pluviógrafo.



2.2 FREQUÊNCIA DE TOTAIS PRECIPITADOS

O conhecimento das características das precipitações apresenta grande interesse de ordem técnica por sua frequente aplicação em projetos hidráulicos. Nos projetos de obras hidráulicas, as dimensões são determinadas em função de considerações de ordem econômica, portanto, corre-se o

risco de que a estrutura venha a falhar durante a sua vida útil. É necessário, então, se conhecer este risco. Para isso analisam-se estatisticamente as observações realizadas nos postos hidrométricos, verificando-se com que frequência elas assumiram cada magnitude. Em seguida, pode-se avaliar as probabilidades teóricas. O objetivo do estudo é, portanto, associar a magnitude do evento com a sua frequência de ocorrência. Isto é básico para o dimensionamento de estruturas hidráulicas em função da segurança que as mesmas devam ter. A frequência pode ser definida como a razão entre o número de observações e o número de ocorrência de determinado evento.

A frequência é uma estimativa da probabilidade e, de um modo geral, será mais utilizada quanto maior for o número de ocorrência. Para se estimar a frequência para os valores máximos, os dados observados devem ser classificados em ordem decrescente e a cada um atribui-se o seu número de ordem. A frequência com que foi igualado ou superado um evento de ordem m é:

$$F = \frac{m}{n} \quad \text{ou} \quad F = \frac{m}{n+1}$$

que são denominados Métodos da Califórnia e de Kimbal, respectivamente. Nas duas expressões, n é o número de anos de observação.

Considerando a frequência como uma boa estimativa da probabilidade teórica (P) e definindo o tempo de recorrência ou período de retorno (T) como sendo o período de tempo médio (medido em anos) em que um determinado evento deve ser igualado ou superado pelo menos uma vez, tem-se a seguinte relação:

$$T = \frac{1}{F} \quad , \quad T = \frac{1}{P} \quad , \quad T = \frac{n+1}{m}$$

Inversamente, a probabilidade de NÃO ser igualado ou de não ocorrer é $P' = 1 - P$, isso porque as únicas possibilidades são de que ele ocorra ou não dentro de um ano qualquer e assim:

$$T = \frac{1}{1-P}$$

Considere os seguintes valores: 90, 80, 70, 65, 60, 55, 50, 45, 35, 25, 20. As frequências observadas para estes valores estão apresentadas na tabela seguinte. Com os dados desta tabela pode-se fazer várias observações: considerando Kimbal, podemos concluir que a probabilidade (frequência) de ocorrer uma precipitação maior ou igual a 90 mm.dia⁻¹ é de 9,0% e que, em média,

ela ocorre uma vez a cada 11,1 anos; a probabilidade de ocorrer um valor menor que 60 mm.dia⁻¹ é de 54,0%.

Tabela 2.1: Frequências observadas

n ^o ordem (m)	valor	F (California) (%)	T Cal.	F (Kimbal) (%)	T K
1	90	10	10	9	11,1
2	80	20	5	18	5,5
3	70	30	3,3	27	3,7
4	65	40	2,5	36	2,8
5	60	50	2,0	45	2,2
6	50	60	1,7	54	1,8
7	45	70	1,4	63	1,6
8	35	80	1,3	72	1,4
9	25	90	1,1	81	1,2
10	20	100	1,0	90	1,1

Para períodos de retorno bem menores que o número de anos de observação, o valor encontrado para F pode dar uma boa ideia do valor real de P, mas para grandes períodos de retorno, a distribuição de frequências deve ser ajustada a uma lei de probabilidade teórica de modo a permitir um cálculo mais correto da probabilidade.

2.3 SÉRIES HISTÓRICAS

As séries temporais originais possuem todos os dados registrados. Para um estudo de eventos extremos o valor máximo em cada ano é selecionado e assim é ordenada uma série de amostras. Essa série é denominada série de **máximos anuais**. Em outros estudos, em que apenas interessam valores superiores a um certo nível, toma-se um valor de precipitação intensa como valor base e assim todos os valores superiores são ordenados numa série chamada série de duração parcial ou simplesmente série parcial. E ainda existem as séries de totais anuais, onde são somadas todas as precipitações ocorridas durante o ano em determinado posto pluviométrico.

2.4 FREQUÊNCIA VERSUS VALOR

A distribuição geral que associa a frequência a um valor (magnitude) é atribuída a Chow:

$$P_T = \hat{P} + K_T S$$

onde:

P_T = valor da precipitação associado à frequência T;

\hat{P} = média aritmética da amostra;

S = desvio padrão da amostra; e

K_T = coeficiente de frequência. É função de dois fatores: T e da distribuição de probabilidade.

Em se tratando de séries de totais anuais, é comum se utilizar a distribuição de Gauss (normal), e para séries de valores extremos anuais, a distribuição de Gumbel fornece melhores resultados e é de uso generalizado em hidrologia.

2.5 DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL

Também é conhecida como distribuição de eventos extremos ou de Fisher-Tippett e é adequada para aplicação em séries de eventos extremos anuais. Quando há interesse em estudar os valores máximos prováveis de um fenômeno, a série anual deve conter os valores máximos observados em cada ano, ordenados no sentido decrescente. Esta distribuição assume que os valores são limitados apenas no sentido positivo; a parte superior da distribuição, ou seja, a parte que trata dos valores máximos menos frequentes é do tipo exponencial e a função tem a seguinte forma:

$$P' = 1 - e^{-e^{-\gamma}}$$

onde γ é a variável reduzida da distribuição Gumbel.

Interpreta-se P' como a probabilidade de que o valor extremo seja igual ou superior a um certo valor X_T . Então, $(1 - P')$, será a probabilidade de que o valor extremo seja inferior a X_T . O período de retorno do valor X_T , ou seja, o número de anos necessários para que o valor máximo iguale ou supere X_T é obtido por:

$$T = \frac{1}{P'}$$

$(P' \geq P_T)$ sendo P_T a precipitação de frequência conhecida. Substituindo a equação anterior na função de probabilidade, o período de retorno (T) pode ser estimado da seguinte forma:

$$T = \frac{1}{1 - e^{-e^\gamma}}$$

Sendo γ a variável reduzida e o seu valor é deduzido tomando duas vezes o logaritmo neperiano na função de probabilidade. O resultado final desta operação é:

$$\gamma = -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]$$

Empregando-se esta distribuição, as frequências teóricas podem ser calculadas a partir da média e o desvio padrão da série de valores máximos. Desta forma:

$$X = \hat{X} + S_x K \quad \text{e} \quad K = \frac{Y - \hat{Y}_n}{S_n}$$

Onde: X é o valor extremo com período de retorno T ;

\hat{X} = é a média dos valores extremos;

S_x = desvio padrão dos valores extremos;

n = número de valores extremos da série;

γ = variável reduzida;

\hat{Y}_n = média da variável reduzida com n valores extremos;

S_n = desvio padrão da variável γ .

Estes valores são tabelados e apresentados a seguir.

Tabela 2.2: Tabela de referência

Tabela – Valores de $\bar{\gamma}_n$ e S_n em função do valor de n .

n	$\bar{\gamma}_n$	S_n	n	$\bar{\gamma}_n$	S_n	n	$\bar{\gamma}_n$	S_n
10	0,4967	0,9573	45	0,5463	1,1519	73	0,5555	1,1881
15	0,5128	1,0206	46	0,5468	1,1538	74	0,5557	1,1890
20	0,5236	1,0628	47	0,5473	1,1557	75	0,5559	1,1898
21	0,5252	1,0696	48	0,5477	1,1574	76	0,5561	1,1906
22	0,5268	1,0754	49	0,5481	1,1590	77	0,5563	1,1915
23	0,5283	1,0811	50	0,5485	1,1607	78	0,5565	1,1923
24	0,5296	1,0864	51	0,5489	1,1623	79	0,5567	1,1930
25	0,5309	1,0915	52	0,5493	1,1638	80	0,5569	1,1938
26	0,5320	1,0961	53	0,5497	1,1658	81	0,5570	1,1945
27	0,5332	1,1004	54	0,5501	1,1667	82	0,5572	1,1953
28	0,5343	1,1047	55	0,5504	1,1681	83	0,5574	1,1960
29	0,5353	1,1086	56	0,5508	1,1696	84	0,5576	1,1967
30	0,5362	1,1124	57	0,5511	1,1708	85	0,5578	1,1973
31	0,5371	1,1159	58	0,5515	1,1721	86	0,5580	1,1980
32	0,5380	1,1193	59	0,5518	1,1734	87	0,5581	1,1987
33	0,5388	1,1226	60	0,5521	1,1747	88	0,5583	1,1994
34	0,5396	1,1255	61	0,5524	1,1759	89	0,5585	1,2001
35	0,5403	1,1285	62	0,5527	1,1770	90	0,5586	1,2007
36	0,5410	1,1313	63	0,5530	1,1782	91	0,5587	1,2013
37	0,5418	1,1339	64	0,5533	1,1793	92	0,5589	1,2020
38	0,5424	1,1363	65	0,5535	1,1803	93	0,5591	1,2026
39	0,5430	1,1388	66	0,5538	1,1814	94	0,5592	1,2032
40	0,5436	1,1413	67	0,5540	1,1824	95	0,5593	1,2038
41	0,5442	1,1436	68	0,5543	1,1834	96	0,5595	1,2044
42	0,5448	1,1458	69	0,5545	1,1844	97	0,5596	1,2049
43	0,5453	1,1480	70	0,5548	1,1854	98	0,5598	1,2055
44	0,5458	1,1499	71	0,5550	1,1863	99	0,5599	1,2060
			72	0,5552	1,1873	100	0,5600	1,2065

2.6 RISCO

Em estudos hidrológicos, uma outra possibilidade a considerar é a de que um certo fenômeno se repita ou não com certa intensidade pelo menos uma vez, porém dentro de N anos. Esse tipo de estudo é particularmente importante quando se analisam eventos (chuvas máximas, enchentes, etc.) para dimensionamento de estruturas hidráulicas de proteção. Neste caso, o valor de T_R (período de retorno) corresponde a um valor extremo da série anual. Nesses projetos são também considerados fatores econômicos e a ociosidade da estrutura se for superdimensionada. Por isso, um critério para a escolha de T_R é baseado no chamado risco permissível ou o risco que se quer correr para o caso de ruptura ou falha da estrutura.

A probabilidade de que uma precipitação extrema de certa intensidade seja igualada ou superada uma vez dentro de um ano é:

$$P = \frac{1}{T}$$

A probabilidade de não ser superada é:

$$P' = 1 - P = 1 - \frac{1}{T}$$

2.7 ANÁLISES DAS CHUVAS INTENSAS

Para projetos de obras hidráulicas, tais como vertedores de barragens, sistemas de drenagem, galerias pluviais, dimensionamento de bueiros, conservação de solos, etc., é de fundamental importância o conhecimento das grandezas que caracterizam as precipitações máximas: intensidade, duração e frequência.

A precipitação máxima é entendida como a ocorrência extrema, com determinada duração, distribuição temporal e espacial crítica para uma área ou bacia hidrográfica. A precipitação tem efeito direto sobre a erosão do solo, em inundações em áreas urbanas e rurais, obras hidráulicas, entre outras. O estudo das precipitações máximas é um dos caminhos para se conhecer a vazão de enchente de uma bacia.

Para locais em que não estão disponíveis dados pluviográficos a estimativa da relação intensidade-duração-frequência (relação i-d-f) pode ser obtida pelo Método das relações de durações. Este método baseia-se em características observadas nas curvas i-d-f correspondentes a postos localizados em diversas partes do mundo e as relações entre durações são obtidas segundo a expressão:

$$r_{t1/t2} = \frac{\text{intensidade de duração } t1}{\text{intensidade de duração } t2} = \frac{\text{precipitação de duração } t1}{\text{precipitação de duração } t2}$$

Os valores médios destas relações obtidos para o Brasil são:

Relação	Valores médios
5 min/ 30 min	0,37
10 min/30 min	0,54
15 min/30 min	0,70
20 min/ 30 min	0,81
25 min/ 30 min	0,91
30 min/ 1 hora	0,74
1 hora / 24 horas	0,42
6 horas /24 horas	0,72
8 horas/ 24h	0,78
10h / 24h	0,82
12h / 24h	0,85
24h / 1 dia	1,14 para cidade de São Paulo
24h / 1 dia	1,10 para regiões com predominância de precipitações convectivas.

As equações de chuva intensa podem ser expressas matematicamente por equações da seguinte forma:

$$i = \frac{X}{(t+b)^c}$$

onde: i é a intensidade máxima média para a duração t. b e c são parâmetros a determinar.

Alguns autores procuram relacionar X com o período de retorno T, por meio de uma equação do tipo $C = KT^a$, que substituída na equação anterior:

$$i = \frac{KT^a}{(t+b)^c}$$

3 ATIVIDADES REALIZADAS

3.1 SÉRIES PLUVIOMÉTRICAS

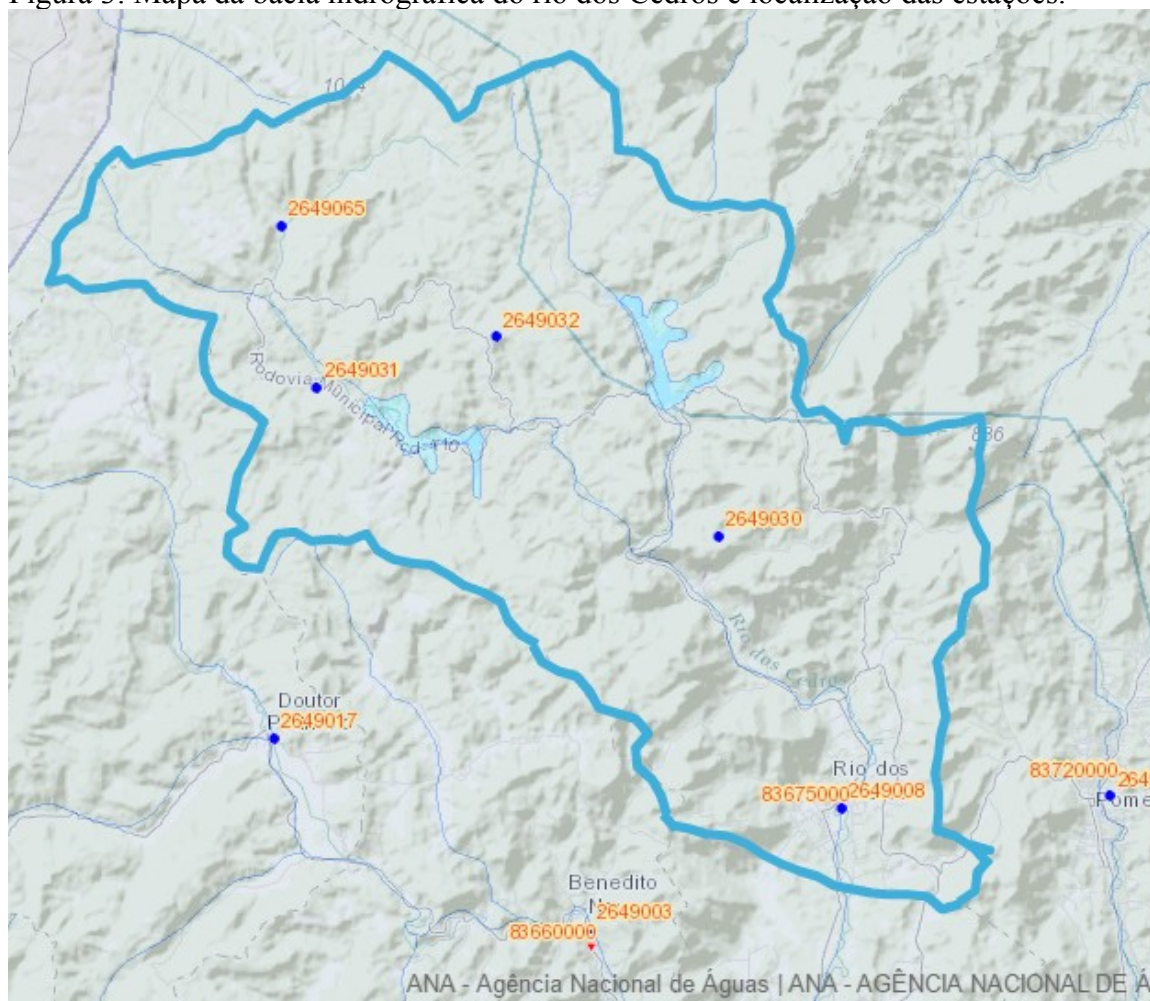
Para este trabalho foram coletados dados pluvio-fluviométricos, disponíveis para as estações pertencentes à ANA, localizadas na bacia hidrográfica do rio dos Cedros. No centro do município de Rio dos Cedros há um posto de medição fluviométrica com registros desde 01/04/1929. Portanto, estão disponíveis 87 anos de dados de cotas fluviométricas. No mesmo local, os dados pluviométricos começaram a ser coletados em 01/01/1941.

Além dos dados de chuva e nível no centro de Rio dos Cedros também foram utilizados os dados pluviométricos de outros três postos pertencentes à ANA. Os detalhes das estações pluviométricas utilizadas neste trabalho são apresentados na Tabela 3.1 e a localização destas estações na bacia do rio dos Cedros é mostrada na Figura 3.

Tabela 3.1: Estações pluvio-fluviométricas da ANA.

Nome	Código ANA	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Arrozeira	02649008	-26°44'27"	-49°16'14"	75
Arrozeira	83675000	-26°44'29"	-49°16'16"	74
Usina Cedros	02649030	-26°39'00"	-49°19'0.2"	720
Pinhal	02649031	-26°35'53"	-49°28'1.1"	736
Usina Palmeiras	02649032	-26°35'00"	-49°24'00"	882
Barra do Avencal	02649065	-26°32'46"	-49°28'48"	813

Figura 3: Mapa da bacia hidrográfica do rio dos Cedros e localização das estações.



A precipitação mensal média para a estação ANA-02649008 (Arrozeira) para o período de 1941-2015 é apresentada na Tabela 3.2 e os valores médios mensais são mostrados na Figura 4.

Tabela 3.2: Precipitação Mensal: Estação 02949008

Ano/Mês	Jan	Fev	Mar	A																
1941	73,7	147,8	76,4	79,0																
1942	98,0	365,2	213,2	12,0																
1943	156,6	124,9	187,1	34,0																
1944	181,4	183,2	94,1	99,0																
1945	89,7	267,9	94,8	10,0																
1946	224,1	381,6	279,8	49,0																
1947	220,2	314,3	133,0	49,0																
1948	207,7	205,1	140,0	69,0																

Figura 4: Precipitação Média para o período 1941-2015 – ANA 02649008 (Arrozeira)

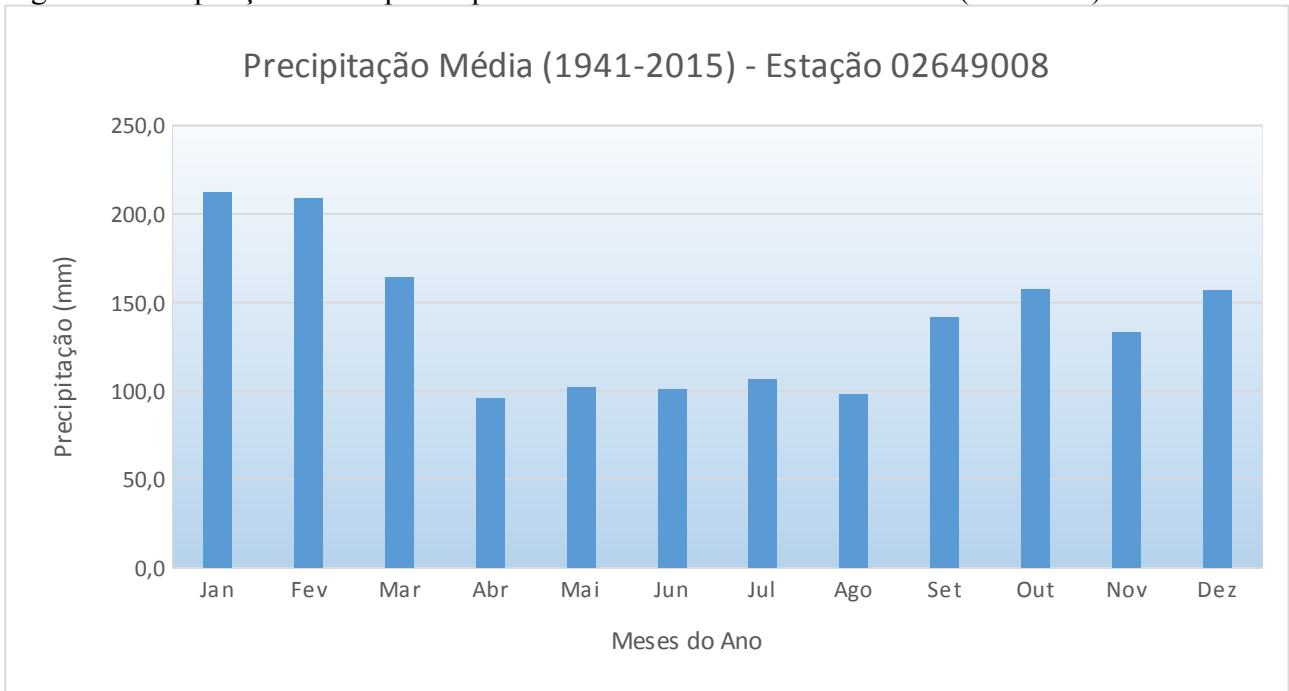


Figura 5: Precipitação Média para o período 1950-1994 – ANA 02649030 (Usina Cedros).

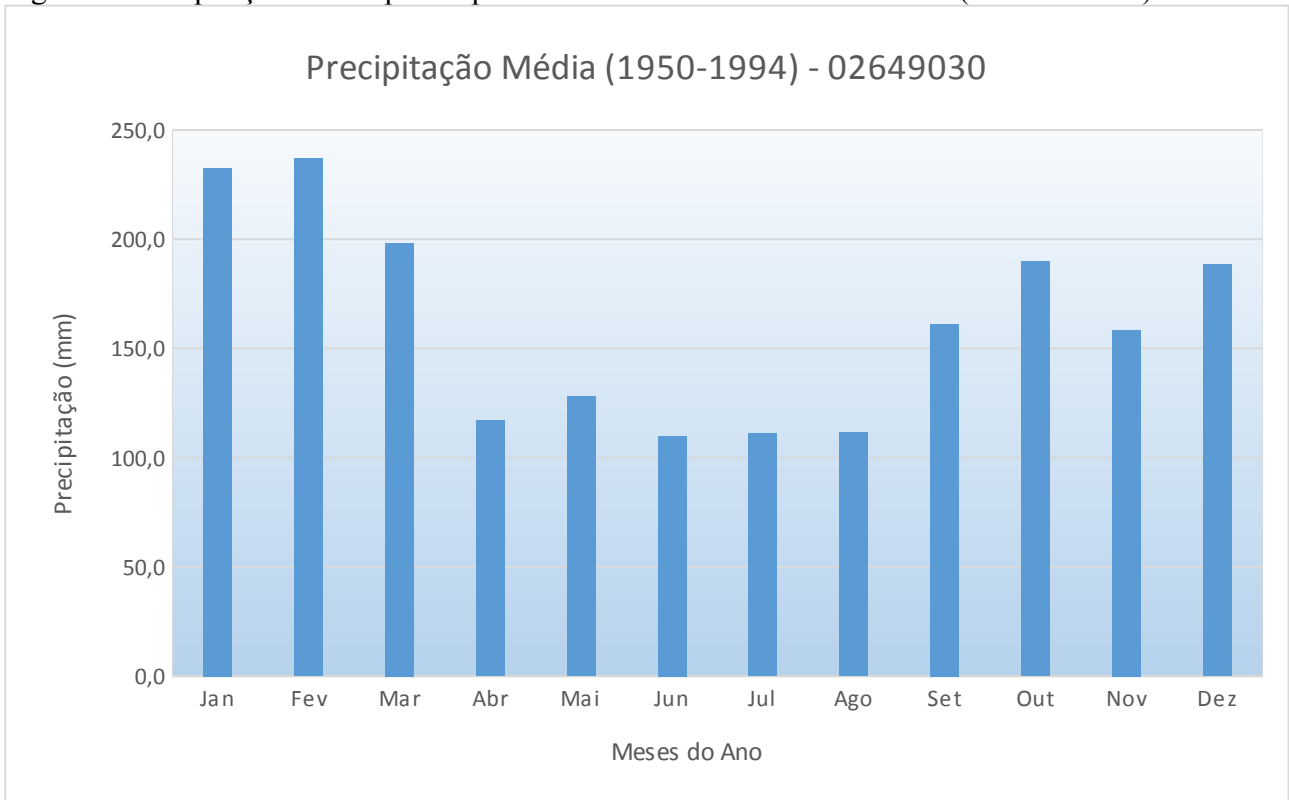


Figura 6: Precipitação Média para o período 1957-1994 – ANA 02649031 (Pinhal).

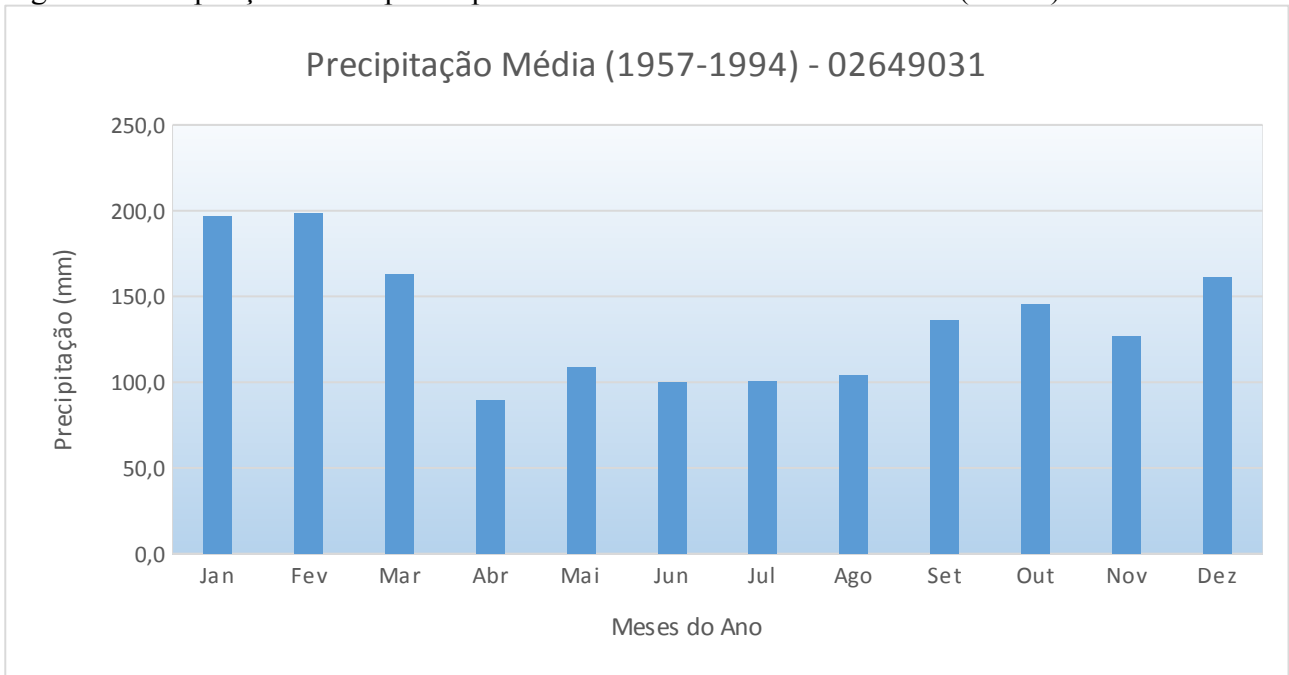


Figura 7: Precipitação Média para o período 1945-1994 – ANA 02649032 (Usina Palmeiras)

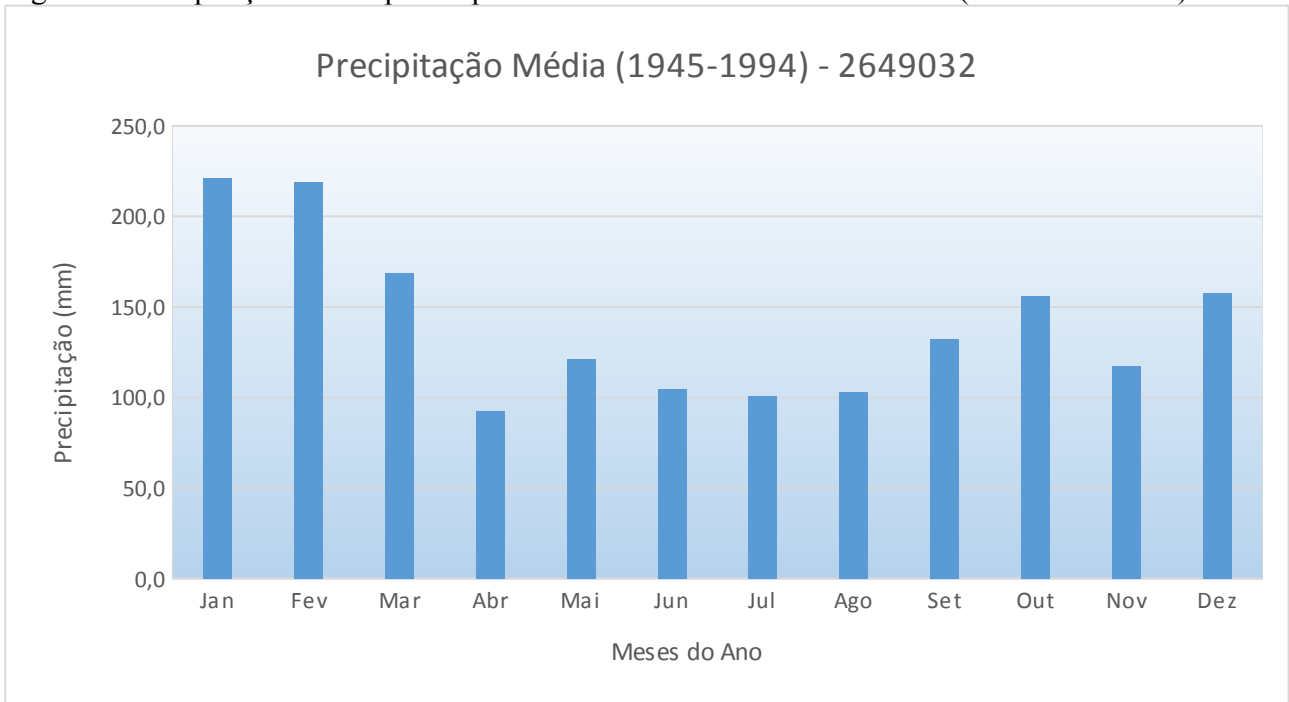
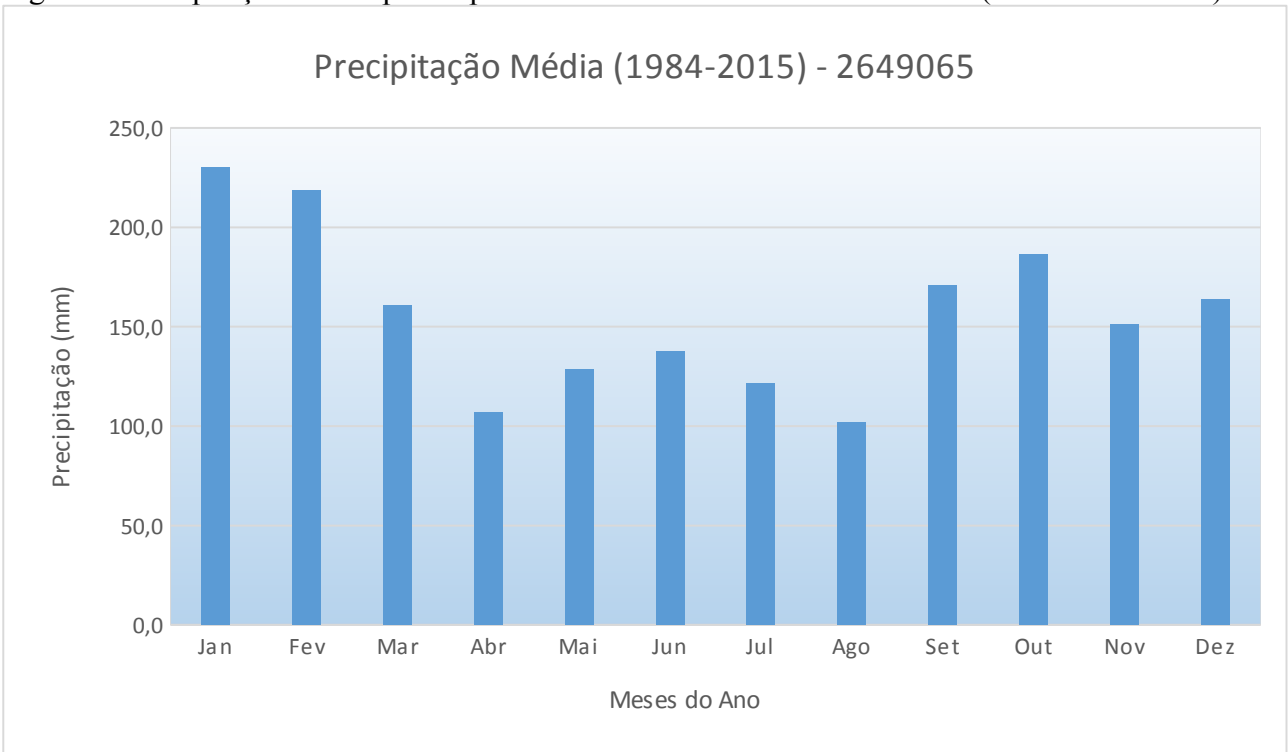


Tabela 3.6: Precipitação Mensal: Estação 02949065

Ano/Mês	Jan	Fev	Mar									
1984	230,0	218,5	160,8									
1985	109,6	232,1	183,8									
1986	115,3	156,3	30,4									
1987	93,2	401,8	43,3									
1988	219,0	93,4	79,3									
1989	457,9	299,0	189,8									

Figura 8: Precipitação Média para o período 1984-12015 – ANA 02649065 (Barra do Avencal).



Na Tabela 3.7 são apresentados os valores médios mensais e anuais, o desvio padrão e os máximos e mínimos registrados nas estações pluviométricas localizadas no interior dos limites da bacia hidrográfica do rio dos Cedros.

Tabela 3.7: Estatísticas das séries de precipitação (mm) das estações localizadas na bacia do rio dos Cedros.

Meses	2649008				2649030				2649031				2649032				2649065			
	Média	Máxima	Mínima	Desvio	Média	Máxima	Mínima	Desvio	Média	Máxima	Mínima	Desvio	Média	Máxima	Mínima	Desvio	Média	Máxima	Mínima	Desvio
Jan	212,1	458,4	41,8	83,6	232,5	465,0	54,0	94,3	196,7	341,5	25,4	83,8	221,2	412,7	32,8	97,6	230,0	457,9	71,3	107,6
Fev	208,7	479,6	39,8	94,4	236,9	491,1	54,9	103,2	198,5	425,9	29,5	85,7	219,1	429,2	67,7	88,7	218,5	401,8	51,5	84,7
Mar	164,1	451,8	26,6	82,7	198,2	480,0	34,0	85,2	163,2	443,5	31,0	80,7	169,0	398,9	6,9	78,3	160,8	326,2	30,4	76,8
Abr	95,5	264,9	0,0	55,8	117,0	304,2	1,0	62,8	89,3	210,0	1,5	50,2	92,7	235,6	0,0	53,6	107,1	248,9	25,2	50,9
Mai	102,1	401,4	0,0	78,9	128,0	511,0	14,1	107,8	108,7	469,4	2,7	93,9	121,5	469,4	11,7	89,6	128,7	469,0	7,5	109,1
Jun	100,8	383,7	2,2	63,7	109,9	291,2	8,2	62,0	99,7	216,0	11,8	55,2	104,5	308,1	0,0	67,3	137,7	455,4	21,4	96,8
Jul	106,7	523,0	3,8	80,8	111,0	626,5	1,5	100,7	100,7	519,0	14,6	88,9	100,6	533,0	0,0	90,8	121,7	244,2	15,1	62,8
Ago	98,0	400,1	2,4	84,5	111,6	392,0	15,8	84,5	104,3	341,0	9,5	77,1	102,8	348,5	4,9	74,3	101,9	354,5	13,8	88,0
Set	141,7	357,6	6,2	68,8	161,2	377,8	33,5	75,4	136,4	341,0	11,5	69,4	132,4	314,8	11,5	71,6	170,6	379,5	32,8	82,7
Out	157,1	412,0	36,0	73,7	189,8	400,5	50,1	68,4	145,4	313,5	60,0	57,4	156,1	305,6	44,4	61,0	186,6	432,6	59,0	92,8
Nov	133,0	630,9	20,0	85,4	158,4	360,3	37,6	82,4	127,0	339,6	32,7	70,1	117,6	298,6	25,5	62,8	151,1	437,8	57,5	80,1
Dez	156,9	391,3	25,6	71,4	188,5	413,0	41,0	79,3	160,9	344,0	33,0	73,1	157,5	365,8	22,5	84,5	163,7	322,2	28,2	66,6
Anual	1676,7	2862,9	713,6	367,6	1943,2	3072,0	1242,7	364,0	1630,8	2424,5	1091,0	272,1	1695,0	2685,1	920,7	344,7	1878,4	2646,5	1101,3	380,4

3.3 ANÁLISE DO PERÍODO DE RETORNO PARA COTAS MÁXIMAS

Os resultados da aplicação do método de Gumbel para a série de valores de alturas fluviométricas máximas anuais para a estação Arrozeira (83675000) são apresentados a seguir. O ajustamento foi quase perfeito, com um coeficiente de determinação próximo a 99%.

Figura 9: Reta Ajustada aos valores de cotas fluviométricas máximas anuais para o período 1931-2015 – Estação 83675000 (Arrozeira).

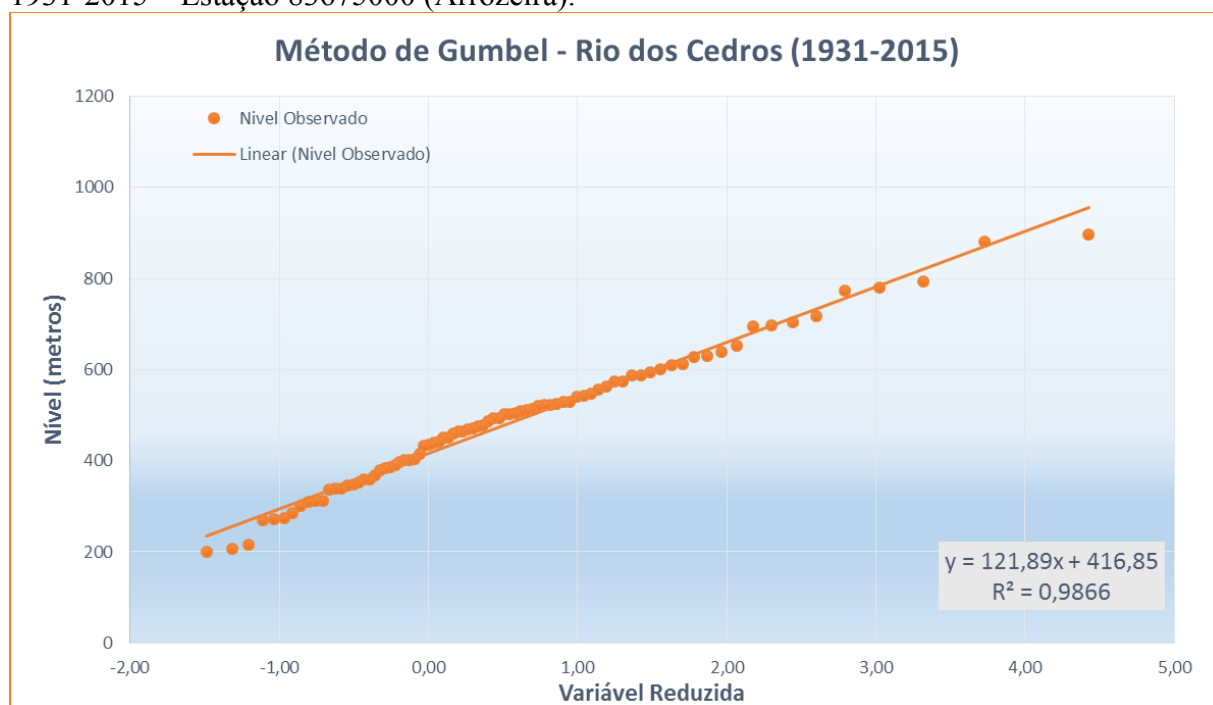


Tabela 3.10: Período de Retorno para Cotas Fluviométricas.

Período de Retorno (Anos)	Cota Fluviométrica (metros)
2	4,62
5	6,00
10	6,91
15	7,43
20	7,79
25	8,07
30	8,29
35	8,48
50	8,92
60	9,15
70	9,34
80	9,50
100	9,78
200	10,62

4 MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À INUNDAÇÃO

As áreas planas próximas aos rios, sobre as quais as águas extravasam são chamadas de planícies de inundação. Desta forma, quando não ocorre o transbordamento das águas de seu canal principal, apesar de o rio ficar praticamente cheio, tem-se uma enchente e não uma inundação. Por esta razão, no mundo científico, os conceitos de “inundação – transbordamento do rio” e “enchente - fenômeno natural” dever ser usados com diferenciação (KOBİYAMA et al., 2006). O mapeamento de áreas suscetíveis de inundação representa um grande avanço para gestão e controle de cheias visando redução dos danos gerados pelo evento natural enchente. Conforme Tucci e Bertoni (2003) os mapas de inundação podem ser de dois tipos: mapeamento para sistema de alerta de inundação e mapeamento de planejamento.

4.1 MAPEAMENTO PARA O ALERTA

Este mapeamento descreve para cada esquina ou ponto de grade da área, o nível da régua para o qual inicia a inundação do ponto. Estes mapas possibilitam o monitoramento e alerta de uma possível ocorrência da enchente. Este acompanhamento é baseado nas observações das réguas de referência.

Também denominada de cota-enchente, este mapeamento deve ser realizado em campo através do levantamento dos pontos distribuídos da superfície de inundação e com marcas da enchente. Assim, para cada ponto visitado, obtêm-se o nível topográfico, através da metodologia de posicionamento diferencial e a respectiva correção pela ondulação geoidal para obtenção da altitude ortométrica. Uma vez obtidos os dados de todos os pontos, a etapa posterior consiste na interpolação dos valores encontrados sobre cada ponto, no qual possibilitará a geração do modelo digital de superfície correspondente à inundação de estudo.

O modelo pode ainda ser extrapolado para outras alturas abaixo e acima do nível de inundação levantado em campo. Para realizar o levantamento topográfico é utilizado receptores GNSS geodésicos, receptores GNSS de navegação e equipamentos auxiliares (REFOSCO; CORDERO, 2012). Para realizar o processamento dos pontos e geração dos mapas, utiliza-se software de sistema de informações geográficas.

Neste método dependendo do tamanho da área de inundação e da quantidade de pontos a serem levantados, demanda tempo e considerável esforços operacionais e financeiros.

4.2 MAPEAMENTO PARA O PLANEJAMENTO

O mapeamento de planejamento tem como objetivo definir as áreas atingidas por cheias, considerando um período de tempo de retorno. O mapeamento de planejamento é um dos objetivos deste trabalho.

Os mapas de planejamento são instrumentos técnicos, que podem ser utilizados para a análise da ocupação do espaço com as edificações habitacionais, comerciais, industriais, estruturas viárias e outras estruturas. Fornecem informações para avaliar o zoneamento do plano diretor e as restrições impostas à ocupação em cada zona (REFOSCO; CORDERO, 2012). Também propicia obter conhecimento das áreas com vulnerabilidade durante uma ocorrência de cheias. Conforme Tucci e Bertoni (2003), estes mapas urbanos são de grande importância, pois auxiliam no desenvolvimento racional das áreas ribeirinhas.

Para desenvolver o zoneamento de áreas de inundação, deve-se considerar uma delimitação da cheia com determinado período de retorno (TUCCI; BERTONI, 2003). Baseado nisso, define-se as áreas de acordo com o risco e a capacidade hidráulica de interferir nas cotas de cheias.

Para ambos mapeamentos, o enquadramento da área depende das características de escoamento, da topografia e do tipo de ocupação e uso do solo dessas faixas. Uma vez identificada uma área suscetível à inundação para uma área já ocupada, este mapeamento facilita o estabelecimento de um programa de transferência da população ou desenvolvimento de uma capacidade de convivência com a frequência de ocorrência de eventos de cheias.

Os elementos fundamentais do processo de mapeamento são a base cartográfica e as características hidráulicas da superfície da bacia. A obtenção e derivação de parâmetros topográficos que compreendem a área de uma bacia hidrográfica e demandam um trabalho árduo e passível a erros, principalmente quando se utiliza métodos analógicos ou mesmo computacionais com interação do usuário.

Atualmente, os dados de sensoriamento remoto vêm atendendo a necessidade de informações em diversas escalas, representando um meio viável de mapeamento da superfície terrestre (BOSQUILIA et al., 2013). Os SIGs (Sistemas de Informação Geográfica) fornecem meios

para o tratamento de dados georreferenciados de forma eficiente, com qualidade e rapidez, através da adequação aos objetivos da aplicação e automatizações que permitem a padronização de resultados.

A combinação de uso de sensoriamento remoto e SIG vêm se tornando uma boa metodologia para planejamento, principalmente pela capacidade de acoplar dados hidráulicos nos dados topográficos e facilitar o mapeamento de áreas suscetíveis à inundação, que geralmente compreende nas etapas de: 1) seleção dos dados, 2) processamento e classificação das imagens, 3) aplicação das técnicas de SIG, 3) cruzamento de informações (BOSQUILIA et al., 2013).

5 METODOLOGIA HAND

A metodologia HAND faz uso de mapa digital do terreno para gerar uma superfície virtual distribuída de equipotenciais gravitacionais relativos à rede de drenagem, representando uma descrição do terreno.

No HAND considera-se que a menor distância vertical relativa de qualquer ponto em relação à rede de drenagem pode indicar maior suscetibilidade de inundação. Por outro lado, a maior distância vertical relativa pode indicar uma menor suscetibilidade de inundação. Para classificar as áreas suscetíveis à inundação e indicar a altura relativa de uma determinada localização geográfica, em vez do nível do mar, o HAND define como referência altimétrica a rede de drenagem mais próxima (NOBRE *et al.*, 2011).

A metodologia HAND tem como sua única entrada o MDT e como saída o mesmo MDT normalizado com a classificação distribuída da área por suas distâncias relativas à drenagem. Como a classificação de uma área é com base na distância vertical da drenagem mais próxima, implica dizer que, quanto mais próximo o nível relativo do ponto em relação à rede de drenagem, maior será a suscetibilidade de inundação deste ponto.

5.1 ETAPAS DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA HAND

Vale salientar que o resultado da simulação do HAND é estreitamente relacionado com a qualidade (resolução) do dado topográfico e os procedimentos executados pelo algoritmo HAND conforme (RENNÓ *et al.*, 2008), são em três etapas: 1) correção do MDT/fluxo de drenagem, 2) obtenção da rede da drenagem e 3) aplicação do algoritmo HAND.

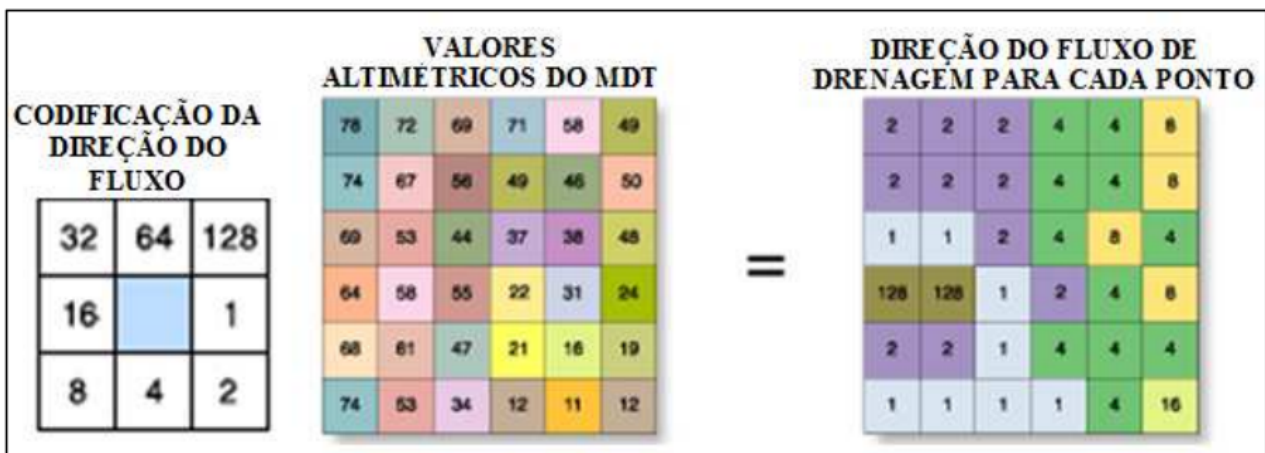
5.1.1 Correção do MDT/fluxo de drenagem

O MDT topográfico é essencial para estabelecer a direção e a velocidade do fluxo de drenagem. Entretanto se o MDT contiver erros em uma célula (ponto), é identificado como área de poço ou sumidouro no MDT. Estas áreas são criadas artificialmente durante o processamento topográfico de geração do MDT e ocorrem quando há incoerência hidrológica do valor altimétrico no dado topográfico em alguns pontos da grade, causando interrupção da rede de drenagem. Para regularizar estas incoerências hidrológicas do MDT utiliza-se a estratégia de regularização de áreas

chamada *breaching* (corte para escoamento), que corrige essas incoerências hidrológicas do dado topográfico, gerando uma rede de drenagem inteiramente coerente.

No segundo momento desta etapa, define-se para cada ponto de grade, a direção do fluxo da água. A conexão hidrológica entre os pontos de grade leva em conta a direção do escoamento superficial, que é determinada pelo método D8. O método D8 (*Deterministic EightNeighbors*) define para cada célula um código de direção do fluxo. Considerando que o ponto não esteja na borda da grade – se este foi o caso, o ponto receberá valor nulo, a direção de escoamento no ponto poderá assumir até oito direções para células vizinhas (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW), para o qual o fluxo seguirá sendo conectado hidrológicamente com apenas um ponto vizinho. Este método utiliza a regra da maior declividade para atribuir a direção do fluxo. Por exemplo, se o sentido de maior queda foi à direita da célula de processamento, a sua direção de fluxo será codificada como sendo 1, se for a esquerda será 16 e assim por diante. Na Figura 10 ilustra-se como se define a direção de fluxo para cada célula da grade pelo método D8.

Figura 10: Algoritmo para definir a direção para o fluxo de drenagem para cada ponto



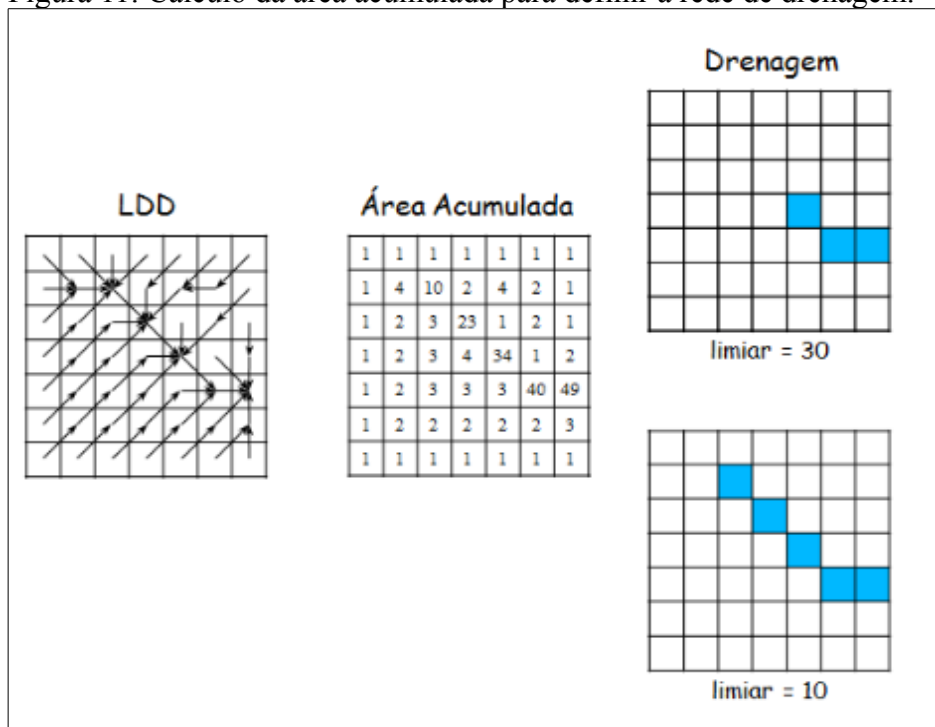
Fonte: Jenson e Domingue (1988).

Conforme ilustrado na Figura 10, o resultado desta etapa é uma grade de pontos chamada direção do fluxo de drenagem (DFD). Desta forma, a direção do escoamento superficial e a conexão entre os pontos hidrológicos na formação da rede de drenagem na grade, são com base na força gravitacional, seguindo sempre para o ponto mais baixo (NOBRE *et al.*, 2011).

5.1.2 Obtenção da rede de drenagem

A partir da correção do MDT e a definição da direção do fluxo de drenagem (DFD), são calculados para cada ponto (célula) da grade os valores acumulados de fluxo recebidos, aonde as células com valores altos indicam uma maior concentração de fluxo acumulado. Desta forma, utiliza-se o método da área de contribuição, onde define-se um limiar mínimo para identificar as células da grade nos quais se iniciam o canal (*headwater*). Assim, a rede de drenagem é definida pelos pontos da grade que tem uma área de contribuição maior do que o limiar mínimo definido. A área de contribuição é calculada através da contagem do número de células, cujo caminho do fluxo convergem para a célula considerada. Na Figura 11, ilustra-se a obtenção da rede de drenagem com os limiares 30 e 10.

Figura 11: Calculo da área acumulada para definir a rede de drenagem.



Fonte: adaptado de Rennó *et al.* (2008).

Conforme ilustrado na Figura 11, quanto menor o valor do limiar de contribuição, maior (mais complexa) será a rede de drenagem encontrada.

5.1.3 Aplicação do algoritmo HAND

A aplicação do algoritmo HAND consiste em calcular a diferença de altura entre cada ponto da grade do MDT de entrada e o ponto mais próximo associado (conectado por uma trajetória de fluxo superficial) com a rede de drenagem definida, o resultado vai gerar o modelo de superfície HAND ou MDT-HAND. O MDT-HAND é então uma topologia de potenciais gravitacionais relativos e guarda relação com a rede de drenagem mais próxima, e perde relação com o nível do mar (NOBRE *et al.*, 2010, NOBRE *et al.*, 2011, NOBRE *et al.*, 2014).

5.2 ÁREA DE ESTUDO

O município de Rio dos Cedros está localizado na região do Médio Vale do Itajaí do estado de Santa Catarina, nas latitudes 26°29'15"S e 26°46'22"S e longitudes 49°12'50"O e 49°33'57"O e uma amplitude altimétrica de 960 m. O município faz parte da mesoregião do Vale do Itajaí que é formada por 53 municípios. Segundo dados do IBGE tem uma população estimada de 11.295 habitantes. A sua área da unidade territorial é de 554,077 km², deste total, correspondendo 2,5% de área urbana. Em relação ao restante da área é utilizada para atividades agrícolas, se destacam as culturas de arroz (56,5%), milho (25,7%), banana (7,7%) e mandioca (6,7%), entre outras como a silvicultura (RIO DOS CEDROS, 2016).

Em relação a hidrologia, o Rio dos Cedros pertence à Microbacia do Rio Benedito, afluente do rio Itajaí-açu. A bacia hidrográfica do Rio dos Cedros possui área de aproximadamente 537 km². Contendo duas represas para geração de energia (Pinha e Rio Bonito), sendo o principal rio do município e possui um comprimento total aproximadamente de 60,7 km (CPRM, 2015). Na Figura 12 ilustra-se o município de Rio dos Cedros.

Figura 12: Localização do município de Rio dos Cedros/SC



O clima na Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí é classificado como subtropical úmido. As temperaturas médias variam de 16 a 27°C. A principal característica são verões quentes e chuvosos, com umidade relativa alta. As estações são bem definidas, com invernos mais secos (BLUMENAU, 2016). A distribuição da precipitação na região da bacia hidrográfica do rio Itajaí ocorre da seguinte forma: estação chuvosa no verão, compreendendo os meses de janeiro a março, um período mais seco, abrangendo os meses de abril a julho e uma estação chuvosa secundária na primavera, nos meses de setembro e outubro (SEVERO, 2009).

5.3 DADOS UTILIZADOS

O dado de entrada para a metodologia HAND é o Modelo Digital do Terreno, o MDT. O MDT é um subproduto das imagens usualmente obtidas por sensoriamento remoto, consistindo em uma representação numérica da superfície contínua da terra, representada por pontos distribuídos espacialmente no solo, descrevendo a topografia em um sistema arbitrário de referência, sem a presença de feições artificiais ou vegetais. Ele é representado por uma grade constituída de células (pixel), no qual cada uma delas tem o valor da sua posição geográfica (x, y) e o valor de altimetria

(z). Quanto menor é a dimensão das células, melhor é a qualidade do dado topográfico (SDS-SC, 2013).

Neste trabalho foi utilizado o MDT obtido do levantamento aerofotogramétrico realizado pela Secretaria de Desenvolvimento Econômico e Sustentável de Santa Catarina (SDS-SC) em 2012. O levantamento aerofotogramétrico de Santa Catarina, consiste na restituição hidrográfica em alta precisão e base hidrográfica orto-codificada entre 2010 e 2012. Foram utilizadas três aeronaves ao mesmo tempo, que fizeram as fotografias aéreas métricas com calibragem controlada. Para o levantamento, foram acoplados nos aviões computadores, 36 aparelhos GPS de alta precisão, sistema inercial e acelerômetros, tornando possível o conhecimento preciso da posição e altitude da aeronave na hora da tomada das aero fotos. Foi utilizado o Sistema Aerotransportado de Aquisição e Pós-processamento de Imagens Digitais (SAAPI), empregado com elemento de resolução espacial no terreno de 1,00 m. O SAAPI foi instalado na aeronave baseado no Serviço Aéreo Especializado (SAE) (SDS-SC, 2013).

O sistema SAAPI representa uma solução para aerolevanteamento digital com utilização de câmaras digitais de alta qualidade geométrica e radiométrica integradas aos sistemas de georreferenciamento direto. Conta com dispositivos baseados em hardware e software que permitem a coleta de imagens georreferenciadas em variadas escalas de voo. Conta com sistema integrado de disparo, sincronismo e armazenamento de dados.

Para a geração dos dados topográficos (produtos) e a caracterização do relevo, como: declividade acentuada, cortes, aterros, cursos d'água importantes, superfícies planas e montanhosas, dentre outras feições relevantes, foram utilizados softwares especializados em processamento fotogramétrico, modelagens de superfície, extração de informações topográficas, tratamento e análises de imagens.

O recorte dos dados topográficos do levantamento aerofotogramétrico da área de estudo é formado por arquivos (TIFF, AUX, RRD, TWF), o mosaico é composto por folhas com *pixels* de 1,0 m que representa toda a região urbana do município de Rio dos Cedros, os dados foram cedidos pela Associação dos Municípios do Médio Vale (AMMVI).

A partir destes dados topográficos, foram processadas as entradas para a metodologia HAND, tendo como saída o MDT-HAND, que foram reprocessados para a obtenção dos mapas e realizados os ajustes e edições das áreas não coincidentes nas quais representou as áreas suscetíveis

à inundação para toda a superfície urbana, na cota de 8,96, esta que corresponde o evento de junho de 2014 no município de Rio dos Cedros.

5.4 MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos para a realiza o deste trabalho são divididos em quatro partes: 1) recorte da superfície urbana do município de Rio dos Cedros, 2) Execu o das etapas metodológicas conforme descrito nas subse oes anteriores. Vale salientar que foram simulados um total de 19 mapas de suscetibilidade   inunda o, representado as classifica es HAND de 2,0 até 20,0 m, onde a classifica o HAND 9 m foi a melhor rela o encontrada com a cota topográfica da régua de 8,96 do evento de junho de 2014. Portanto, o mapa de suscetibilidade foi baseado na classifica o HAND 9 m.

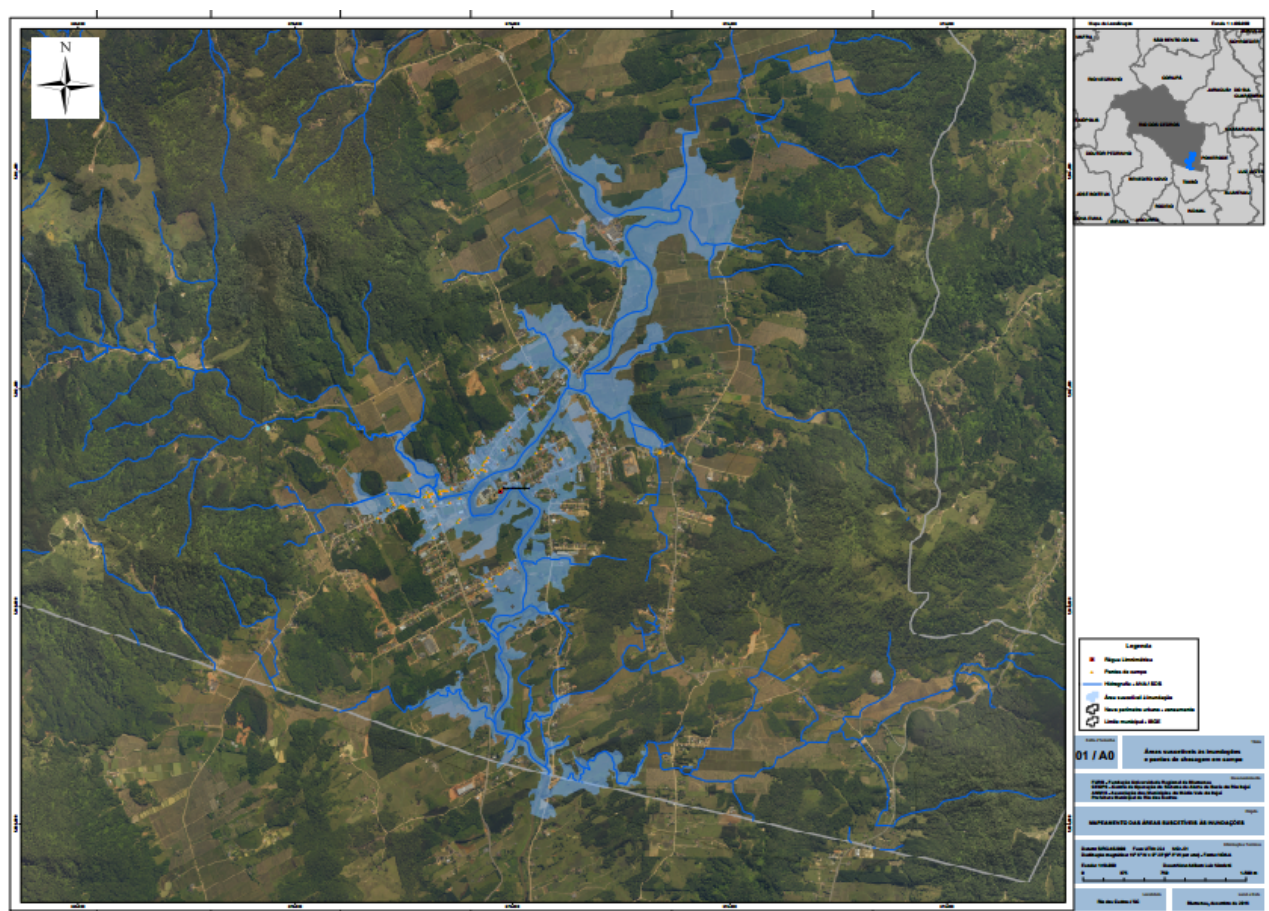
5.4.1 Referencias cota hidrológica e a cota topográfica

Para referenciar a cota HAND e a cota da régua de referência, foi realizado uma visita de campo na esta o telemétrica e neste local, com os equipamentos de Geodésia, obtido a cota topográfica na régua da última inunda o ocorrida em junho 2014 e que alcançou 8,96 m na régua de referência.

5.4.2 Consistência dos dados

Foi realizada duas visita es de campo nos pontos que efetivamente foram atingidos pelo evento de junho de 2014. No total foram verificados aproximadamente 80 pontos, onde foram realizadas entrevistas com os moradores e obtidas as coordenadas geográficas. O objetivo destas visita es foi de analisar a área e confirmar a ocorrência ou não da inunda o naquele ponto. Na Figura 13 ilustra-se o mapeamento das áreas suscetíveis   inunda o na cota 8,96 m e os pontos de consistência dos dados.

Figura 13: Mapeamento das áreas suscetíveis à inundação simulada na cota de 8,96 m e os dados consistidos em campo.



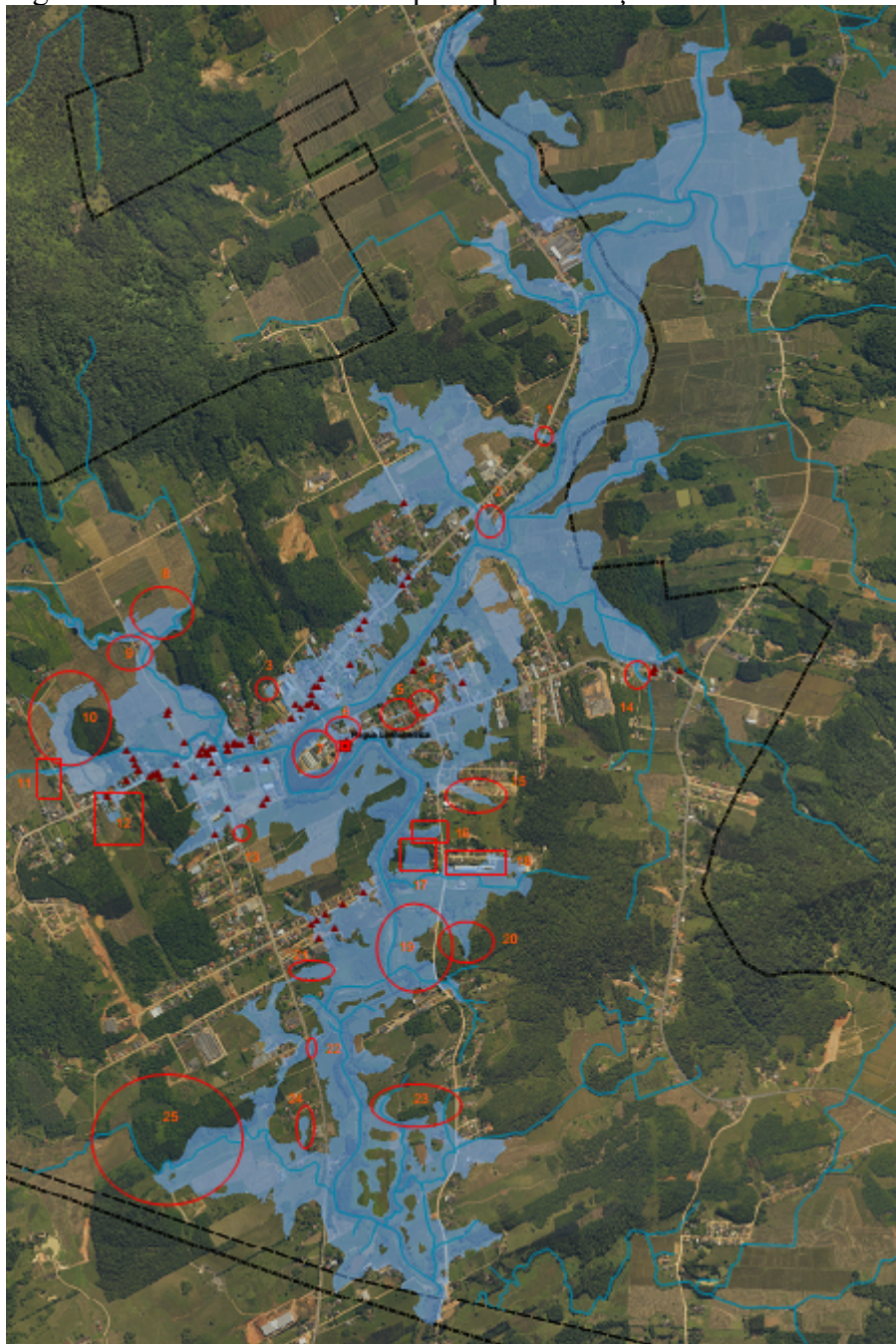
Conforme ilustrado na Figura 13, a área em azul representa a superfície suscetível de inundação, os pontos representados pelos triângulos amarelos são as áreas visitadas a campo, o quadrado em vermelho representa a localização da régua limnométrica, a linha em azul é a hidrografia ANA/SDS e a linha em cinza representa o perímetro urbano do município.

5.4.3 Análise dos pontos em desacordo por superestimação de áreas

Nas reuniões realizadas com os técnicos da prefeitura municipal de Rio dos Cedros para apresentação dos resultados preliminares do mapeamento, foram identificados 25 pontos de áreas em desacordo com a realidade, em todas estas áreas foram identificadas como de superestimação,

ou seja, áreas simuladas pela metodologia e que efetivamente não foram atingidas durante o evento de 2014. Na Figura 14, se ilustra estas áreas em desacordo por superestimação.

Figura 14: Áreas em desacordo por superestimação

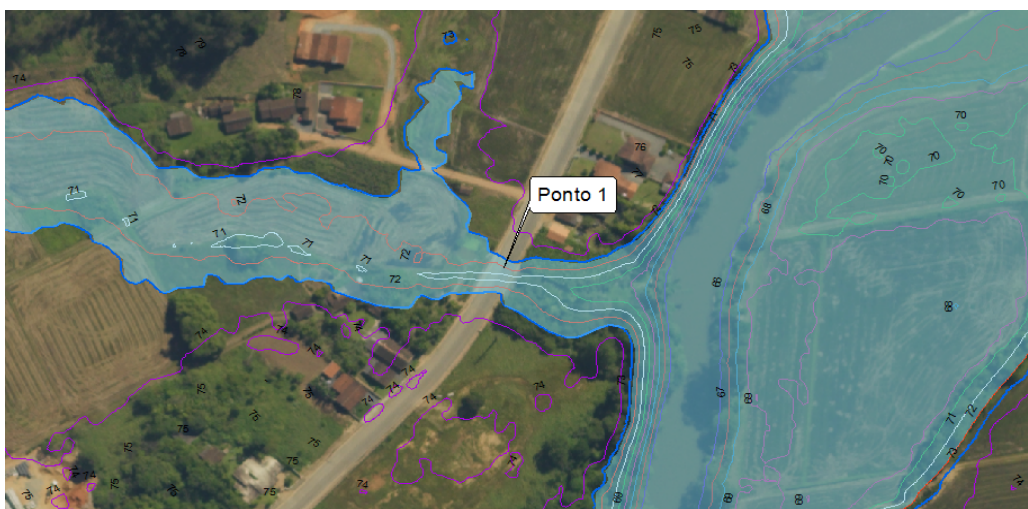


A metodologia para a edição dos mapas simulados HAND foi baseada na substituição da curva de nível obtida na simulação para uma curva de nível mais baixa. Considerando a altura

topográfica na qual a inundação de junho 2014 foi de 8,96 m na régua limnimétrica, atingindo a altura topográfica de 72,408 m, foi associada a mancha HAND na classificação 9 m, na qual atingiu a curva de nível 73 m. Entretanto, para edição do mapa, para algumas áreas se considerou as curvas de nível 72 e 71 m como limite. Abaixo se descreve as 25 observações realizadas no mapa.

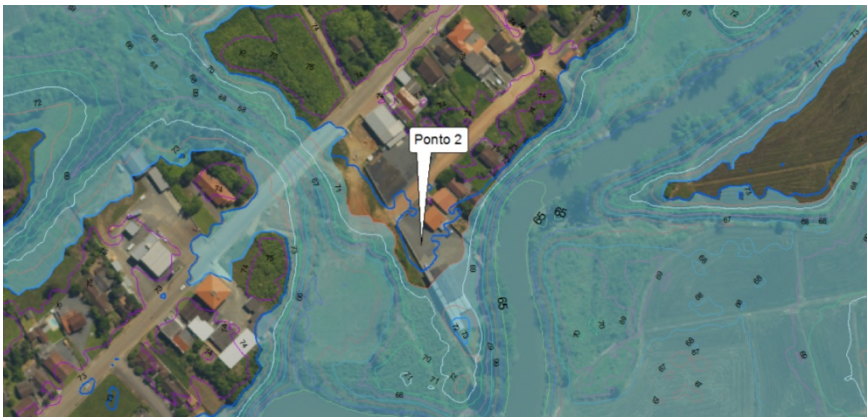
Ponto 1

Neste ponto não foi realizada a edição na macha, pois a regra da mancha de inundação baseada pela curva de nível 73 m e no cruzamento da estrada possui as curvas de nível 71 e 72 m, além da 73 m. Se interromper a mancha ali, anula toda a mancha para o lado de cima da estrada (estrada / montanhas). Pela disposição das curvas de níveis, entre a estrada e o rio, indica que há um curso de água ou rede de drenagem nessa área, por isso a modelagem da inundação marcou esta área.



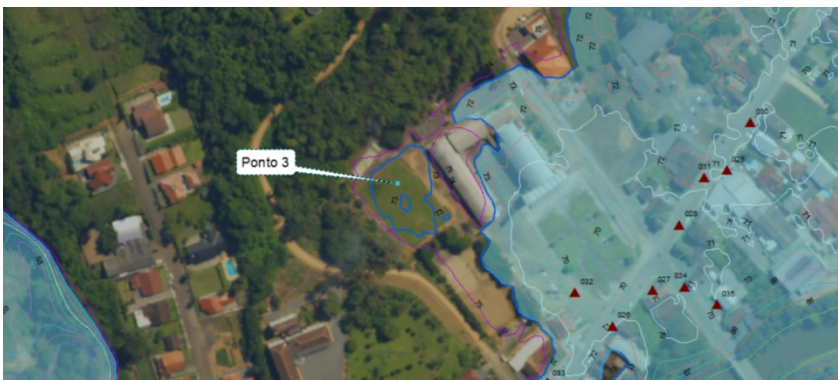
Ponto 2

Edição realizada, respeitando a curva de nível 72 m. portanto, excluindo parte da mancha nesta área.



Ponto 3

Edição realizada, apesar de estar na curva de nível 73 m. ainda assim respeitando a metodologia.



Ponto 4

Editado área até o limite da curva de nível 73 m.

Ponto 5

Deletado áreas, respeitando a metodologia.



Ponto 6

Deletado áreas no terreno da prefeitura, respeitando a metodologia.

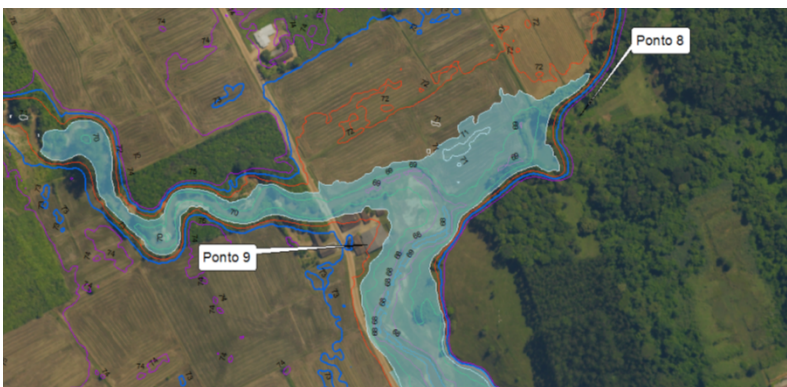
Ponto 7

Deletado parte próxima a curva de nível 72 m, do outro lado da empresa, já está no limite da curva 71 m.



Ponto 8 e 9

Editado mapa para atingir a curva de nível 71 m.



Ponto 10

Editado para a curva de nível 72 m.



Ponto 11

Não foi realizado edição. A mancha nesse ponto já está sobreposta na curva de nível 71 m, deletando mais, seria abaixo do limite de altimetria para este ponto.



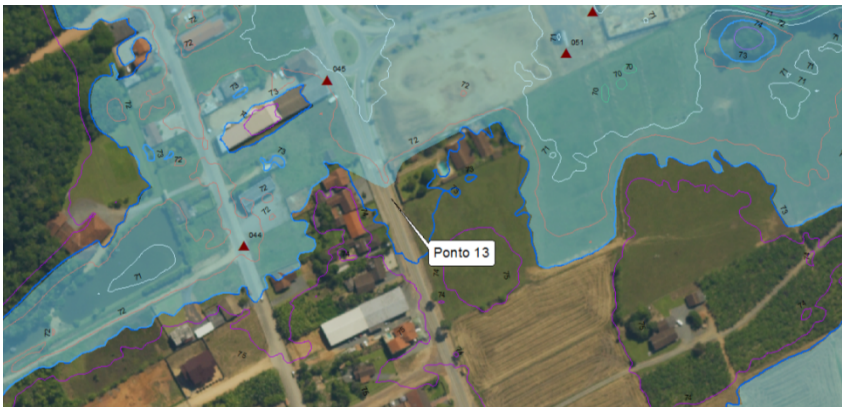
Ponto 12

Editado conforme a sinalização.



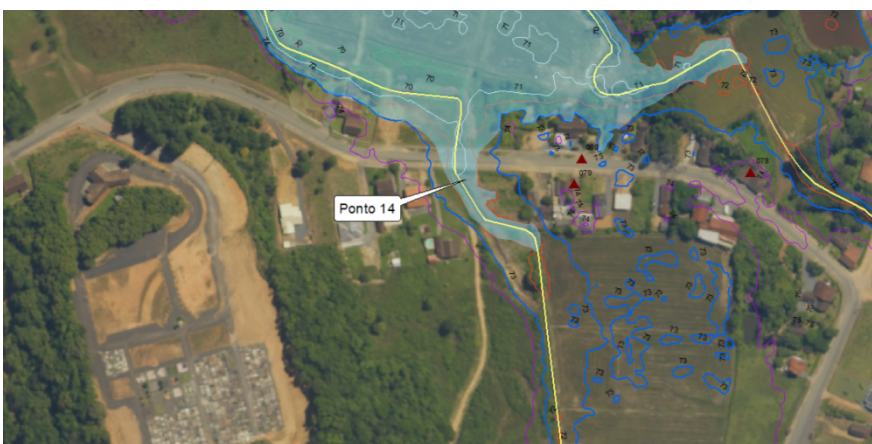
Ponto 13

Editado conforme a sinalizado



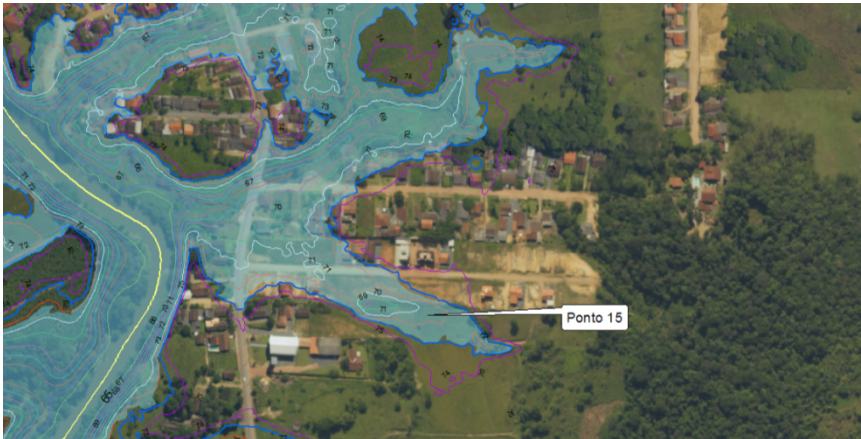
Ponto 14

Neste ponto não foi realizado a edição da mancha. Esta área é atribuída ao curso de água presente (cor amarela), sendo área suscetível a inundação e apoiada na curva de nível 72 m.



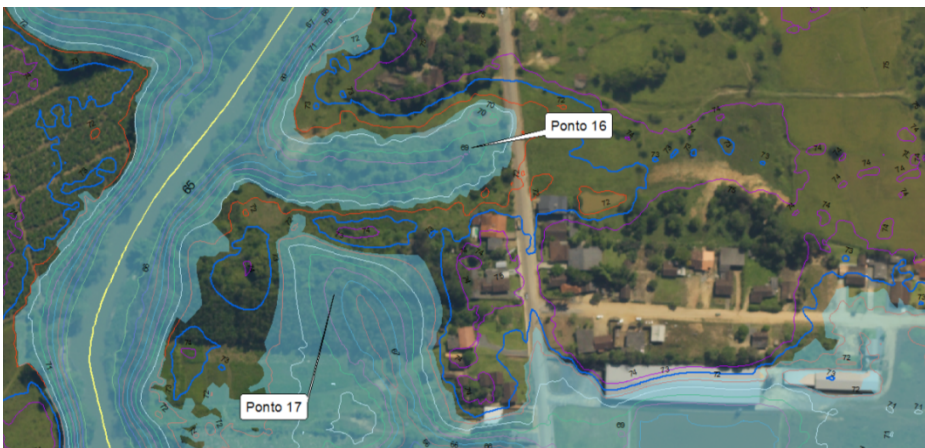
Ponto 15

Não foi realizada a edição, a mancha acompanha curva de nível 73 m, como as áreas próximas.



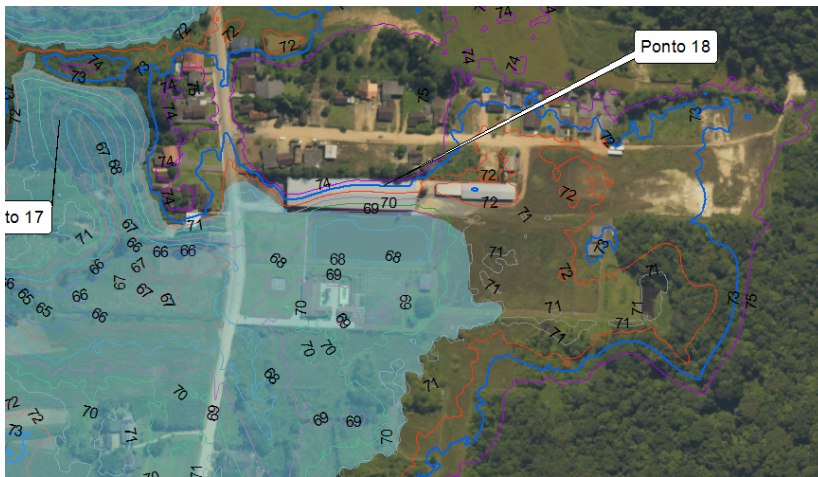
Ponto 16 e 17

Não foi realizada a edição da mancha, pois pela disposição das curvas de níveis, deve haver uma área de baixada e por isso a mancha contempla essas áreas.



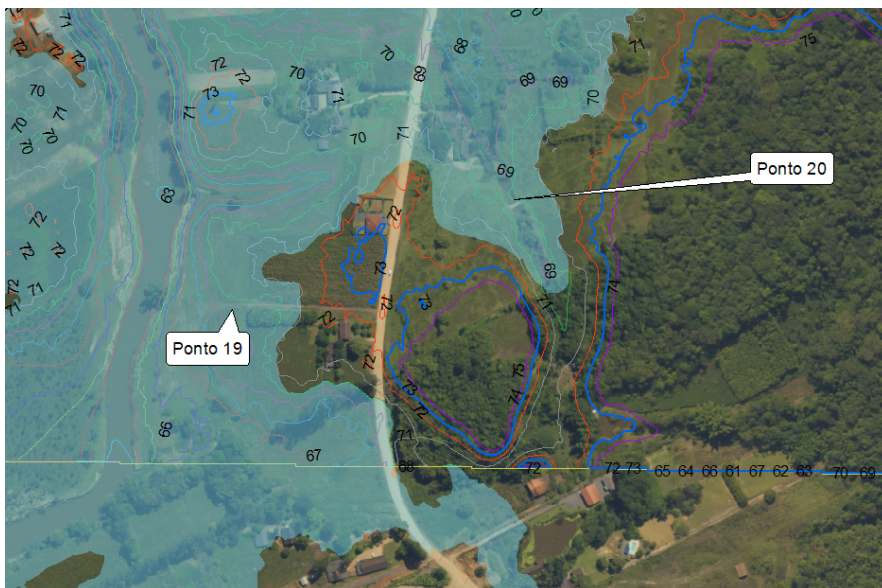
Ponto 18

Editado conforme áreas sinalizadas.



Ponto 19 e 20

Não foi realizada a edição da mancha, pois se realizar a edição (ou deletar) a mancha, descaracterizará a metodologia com relação as curvas de níveis 71, 72 e 73 m que apoiam a metodologia.

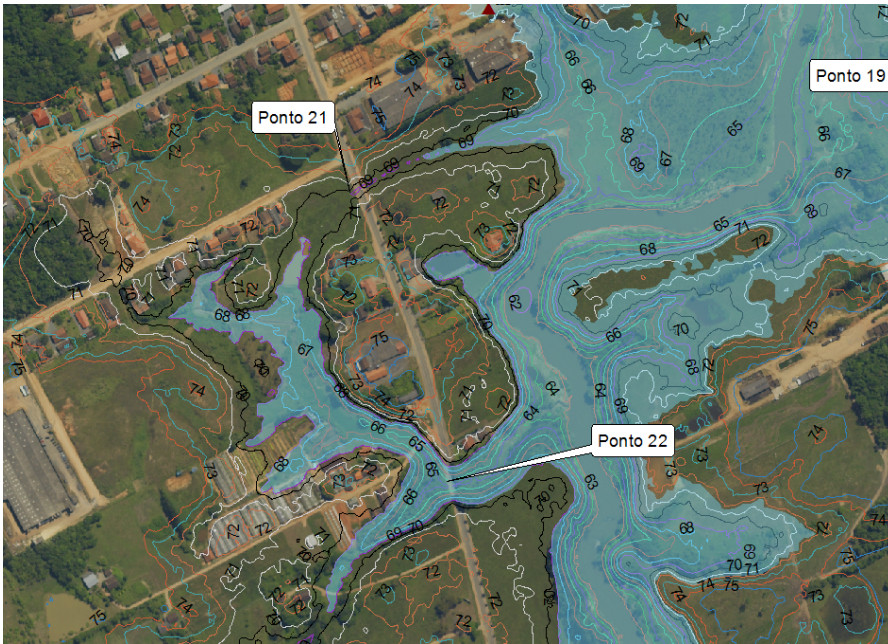


Ponto 21

Editado conforme sinalizado.

Ponto 22

Neste ponto não foi edição na macha, pois de acordo com a altimetria, suprimir a área descaracterizará a mancha.



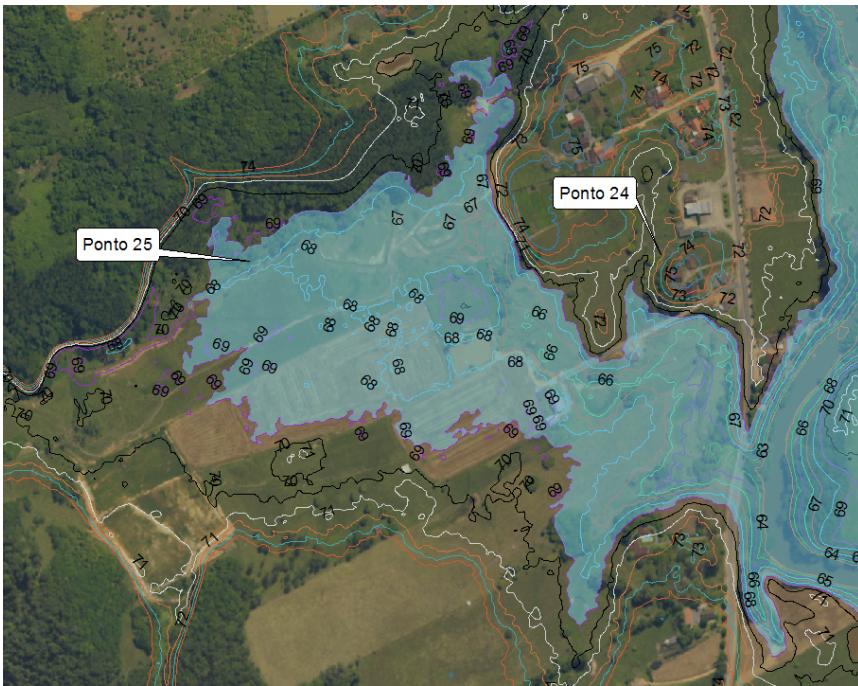
Ponto 23

Editado conforme sinalizado, considerando a metodologia baseada nas curvas de níveis.



Ponto 24 e 25

Editado conforme sinalizado, considerando a metodologia baseada nas curvas de níveis.



6 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram utilizados dados do levantamento aerofotogramétrico de alta resolução espacial proveniente da SDS-SC e a metodologia HAND para simular as áreas urbanas suscetíveis à inundação no município de Rio dos Cedros. Foram simuladas as manchas de inundação na cota de 8,96 m, referente ao evento cheia ocorrido em junho de 2014. Com base neste estudo, foi verificado que o tempo recorrência para esta cota é de aproximadamente de 50 anos.

Para verificar a mancha simulada, foram realizados dois testes de consistência de dados: 1) através do cruzamento das informações levantadas a campo pelos técnicos da prefeitura municipal de Rio dos Cedros durante o evento de junho de 2014 e 2) através de visitação de campo durante a execução deste trabalho para a análise da área, entrevistas aos moradores e coleta de dados topográficos.

Os resultados deste trabalho foram apresentados na forma de mapas com as áreas suscetíveis à inundação.

REFERÊNCIAS

BLUMENAU. Prefeitura Municipal de Blumenau. **Dados geográficos e clima da bacia do rio itajaí**. 2016. Disponível em: <<http://www.blumenau.sc.gov.br/gxpsites/hgxpp001.aspx?1,1,313,O,P,0,MNU;E;3;1;37;3;MNU>>. Acesso em: 03 set. 2016.

BOSQUILIA, R. W. D.; FIORIO, P. R.; BARROS, P. P. da S.; MARTINS, J.; DUARTE, S. N. Comparação entre modelos de mapeamento automático de drenagens utilizando SIG. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, Vol. 8, p. 5872–5879, 2013.

CHOW, Ven Te. A general formula for hydrologic frequency analysis. *TRANS. AMER. GEOPHYS. UNION*, v.32, 1951.

CEOPS. Centro de Operação do Sistema de Alerta do Vale do Itajaí. Levantamento da cota-enchente do município de Blumenau. 2012. disponível em <ceops.furb.br>. Último acesso 16/11/2016.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimento de massa, enchente e inundação. Ministério de Minas e Energia. Rios dos Cedros. 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Santa Catarina – Rio dos Cedros**. 2016. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br>>. Acesso 03 nov. 2016.

JENSON, S. K.; DOMINGUE, J. O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 54 (11): p. 1593–1600, 1988.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. de O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F.; RUDORFF, F. de M. **Prevenção de desastres naturais: Conceitos básicos**. Curitiba: Organica Trading, 124 p., 2006.

MAGNI, LUIZ GOI. Estudo Pontual de Chuvas Intensas. Dissertação apresentada a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção de título de mestre em engenharia, no ano de 1984, 160 p.

NOBRE, C. A.; YOUNG, A. F.; ORSINI, J. A. M.; SALDIVA, P. H. N.; NOBRE, A. N.; OGURA, A. T.; THOMAZ, O.; VALVERDE, M.; PÁRRAGA, G. O. O.; SILVA, G. C. M.; SILVEIRA, A. C.; RODRIGUES, G. de O. Capítulo 13 - Vulnerabilidades das megas cidades brasileiras às mudanças climáticas: região metropolitana de São Paulo. **IN: Mudança do clima no Brasil : aspectos econômicos, sociais e regulatórios.** editores: Ronaldo Seroa da Motta, Jorge Hargrave, Gustavo Luedemann, Maria Bernadete Sarmiento Gutierrez. Brasília : Ipea, 440 p., 2010.

NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; HODNETT, M.; RENNÓ, C. D.; RODRIGUES, G.; SILVEIRA, A.; WATERLOO, M.; SALESKA, S. Height above the nearest drainage, a hydrologically relevant new terrain model, **Journal Hydrology**. 404, p. 13–29, 2011.

NOBRE, A.D.; CUARTAS, L.A.; MOMO, M. R.; PINHRIO, A.; SEVERO, D.L.; NOBRE, C.A. (no prelo). HAND contour: calibration-independent new predictor of inundation extent. **Hydrological Processes**. HYP-14-0649, 2014.

REFOSCO, J. C., CORDERO, A. **Cota-enchente de Blumenau, carta-enchente e roteamento-enchente.** Blumenau: CEOPS/FURB, Relatório Técnico. p. 96, 2012.

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

RIO DOS CEDROS. Prefeitura Municipal de Rio dos Cedros. **Cidade.** 2016. Disponível em: <<http://www.riodoscedros.sc.gov.br/municipio/index/codMapaItem/20283>>. Acesso em 03 nov. 2016.

SDS-SC, Secretaria de Desenvolvimento Econômico Sustentável do Estado de Santa Catarina. **Levantamento aerofotogramétrico do Estado de Santa Catarina.** Florianópolis: ENGEMAP, 202 p., Documento Digital, 2013.

SEVERO, D. L. A meteorologia do Desastre. In: FRANK, B.; SEVEGNANI, L. **Desastre de 2008 no Vale do Itajaí: Água, gente e política.** Blumenau: Agência da Água do Vale do Itajaí, p. 72-77, 2009.

SILVA, Filipe Viezzer da et al. Mapeamento das áreas de inundação na zona urbana do município de Rio dos Cedros (SC) por meio dos modelos Hec-Ras. UFSC-(TCC em Eng. Sanitária e Ambiental), 2013.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J.C. (ORG.). **Inundações urbanas na América do Sul.** Porto Alegre: ABRH, 150 p. 2003.

ANEXO I – FOTOS DO TRABALHO DE CAMPO: PONTOS VISITADOS

