



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DO TEMPO DE RETORNO DOS NÍVEIS DAS  
INUNDAÇÕES NO VALE DO TAQUARI/RS**

Roberta Karinne Mocva Kurek

Lajeado, novembro de 2012

Roberta Karinne Mocva Kurek

**AVALIAÇÃO DO TEMPO DE RETORNO DOS NÍVEIS DAS  
INUNDAÇÕES NO VALE DO TAQUARI/RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental, do Centro Universitário UNIVATES, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Rafael Rodrigo Eckhardt

Lajeado, novembro de 2012

Roberta Karinne Mocva Kurek

**AVALIAÇÃO DO TEMPO DE RETORNO DOS NÍVEIS DAS  
INUNDAÇÕES NO VALE DO TAQUARI/RS**

A banca examinadora abaixo aprova o Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental:

Prof. Ms. Rafael Rodrigo Eckhardt – orientador

Centro Universitário UNIVATES

Prof. Dr. Claus Haetinger

Centro Universitário UNIVATES

Profa. Ms. Grasiela Cristina Both

Centro Universitário UNIVATES

Lajeado, 28 de novembro de 2012

## **AGRADECIMENTOS**

*Agradeço inicialmente a toda a minha família os ensinamentos, as orações, os momentos de preocupações, a paciência e entendimento da minha ausência. Em especial, a minha mãe, Nara Taisa, meu grande exemplo, todo amor, apoio e amizade.*

*Ao Prof. Rafael por dedicar muito do seu tempo para me orientar em todas as etapas deste trabalho, com muita paciência, e por todas as suas contribuições, revisões e correções.*

*Aos professores da Univates os conhecimentos repassados durante todo o curso.*

*Aos meus colegas de trabalho, Juliana, Sofia, Grasiela e Gustavo, o auxílio e paciência dedicados nesta etapa. E, também, por me descontraírem nos momentos de tensão.*

*Ao meu namorado a inesgotável compreensão dedicada a mim durante os últimos meses, o amor e incentivo.*

*Aos meus colegas e amigos da faculdade a amizade e companheirismo, que fizeram dos momentos mais difíceis os mais simples e divertidos durante os 6 anos.*

*Por fim, um singelo agradecimento a todas as pessoas que de algum modo contribuíram para a concretização desta etapa de minha vida.*

*“Cada pessoa que passa em nossa vida passa sozinha e não nos deixa só porque deixa um pouco de si e leva um pouquinho de nós” (Charles Chaplin)*

## RESUMO

As inundações são fenômenos naturais causados por eventos extremos de precipitação pluviométrica. Consistem no tipo de desastre natural que mais atinge o Brasil e que com frequência causam impactos no Vale do Taquari / RS. Estratégias para melhorar a convivência do ser humano com esses eventos são imprescindíveis, devido ao número de vidas envolvidas. O presente estudo tem como objetivo calcular a probabilidade de ocorrência e o tempo de retorno (TR) de diferentes níveis de inundação dos municípios de Encantado e Estrela, situados na região. A probabilidade de ocorrência consiste no risco de determinado nível ocorrer em um ano e o TR é o intervalo médio de anos em que o mesmo pode ser igualado ou superado. A metodologia deste estudo envolveu a atualização das séries históricas parciais dos níveis máximos das inundações independentes de 1941 a 2012 em Encantado e de 1940 a 2012 em Estrela. O cálculo da probabilidade (P) e do TR foi realizado por meio da equação  $TR = 1 / P$ , sendo  $P = f_n$  (nº de eventos igualados ou superados) /  $\Delta t$  (intervalo de tempo) e a extrapolação, para níveis não ocorridos na série, por meio do *software* LAB Fit. Foram registradas 90 inundações em Encantado e 66 em Estrela durante o período de análise, a maioria na estação do inverno. Constatou-se que a maior parte dos níveis de inundação (Encantado: 38 a 46 m e Estrela: 19 a 26 m) apresenta TR inferior a 5 anos, equivalente a uma probabilidade de ocorrência acima de 20% por ano. O TR calculado para os últimos 30 anos apresentou redução para a maioria dos níveis, evidenciando um aumento da frequência das inundações. Os resultados obtidos no estudo mostraram-se satisfatórios e relevantes, com ênfase na elevada recorrência das inundações na região. Pretende-se contribuir para o planejamento da ocupação das áreas sujeitas às inundações nos dois municípios e no aprimoramento do sistema de previsão e alerta de enchentes do Vale do Taquari.

**Palavras-chave:** Inundações. Tempo de Retorno. Vale do Taquari / RS.

## ABSTRACT

The floods are natural events caused by extremes of pluviometric precipitation. They consist in a kind of natural disaster that affect Brazil and frequently cause impacts in Vale do Taquari / RS. It is essential that strategies have to be made improve the coexistence of human being with these events, because many lives are involved. This study has the objective to calculate the probability of occurrence and the return time (TR) of different levels of floods in the cities of Encantado and Estrela, situated in the region. The probability of occurrence consists in the risk of certain level occur in a year and the TR is the average interval of years that the same can be equaled or overcame. The methodology of this study involved the actualization of partial historic series of maximum level of independent floods from 1941 to 2012 in Encantado and from 1940 to 2012 in Estrela. The calculus of probability (P) and the TR was realized by half of the equation  $TR = 1/P$ , wher  $P = f_n$  (number of events equaled or overcame) /  $\Delta t$  (average interval) and the extrapolation into levels that didn't occur in the series, using the LAB Fit software. There were registered 90 floods in Encantado and 66 in Estrela during the analysis period, most of them in the winter season. It was seen that most of the floods (Encantado: 38 to 46m and Estrela: 19 to 26m) presents TR inferior than 5 years, equivalent to a probability of occurrence above 20% per year. The TR calculated for the last 30 years presented a reduction in most of the levels, showing a raise in the frequency of the floods. The results obtained in the study shown to be satisfactory and relevant, with emphasis in the increase recurrence of the floods in the area. We intend contributing to plan the occupation of susceptible areas to the floods in both cities and to improve the prediction and alert system of floods in Vale do Taquari.

**Keywords:** Floods. Return Time. Vale do Taquari / RS.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição dos desastres naturais por regiões do mundo, no período de 1974 a 2003. ....	19
Figura 2 – Esquematização do processo natural de escoamento das águas na bacia hidrográfica.....	22
Figura 3- Representação esquemática da diferença entre enchente e inundação .....	24
Figura 4 - Caracterização das alterações no uso do solo devido à urbanização e reflexo no ciclo hidrológico .....	26
Figura 5 - Localização dos 10 municípios do Vale do Taquari afetados pelas inundações. ....	27
Figura 6 - Fluxograma do funcionamento do SPAE, no Vale do Taquari .....	33
Figura 7 – Localização da área de estudo.....	37
Figura 8 – Fluxograma das etapas do estudo realizadas para cada município .....	39
Figura 9 – Equações utilizadas para o cálculo da probabilidade de ocorrência e o tempo de retorno dos níveis de inundação .....	40
Figura 10 – Imagem de satélite da região de estudo.....	46

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Distribuição dos tipos de desastres naturais ocorridos no Brasil entre 1900 e 2006 .....	20
Gráfico 2 - Porcentagem de ocorrência de desastres naturais nas regiões do Brasil.....	21
Gráfico 3 – Série histórica dos níveis máximos das inundações registrados no município de Encantado entre os anos de 1941 e 2012 .....	48
Gráfico 4 – Distribuição do número de inundações por mês no município de Encantado.....	50
Gráfico 5 – Distribuição do número de inundações por estações do ano no município de Encantado .....	50
Gráfico 6 – Análise da média aritmética e mediana da série histórica das inundações do município de Encantado .....	51
Gráfico 7 – Análise da moda da série histórica das inundações do município de Encantado ..	51
Gráfico 8 – Ajuste da modelagem matemática para extrapolação do tempo de retorno (y) para o município de Encantado em função do nível (x).....	54
Gráfico 9 - Série histórica de inundações acoplada ao tempo de retorno calculado para o município de Encantado entre os anos de 1941 e 2012 .....	55
Gráfico 10 – Série histórica dos níveis máximos das inundações do município de Estrela entre os anos de 1940 e 2012.....	59
Gráfico 11 – Distribuição do número de inundações por mês no município de Estrela .....	61
Gráfico 12 - Distribuição do número de inundações por estação do ano no município de Estrela .....	61
Gráfico 13 – Análise da média aritmética e mediana da série histórica das inundações do município de Estrela .....	62
Gráfico 14 – Análise da moda da série histórica das inundações do município de Estrela.....	62
Gráfico 15 - Ajuste da modelagem matemática para extrapolação do tempo de retorno (y) para o município de Estrela em função do nível (x).....	64
Gráfico 16 – Série histórica de inundações acoplada ao tempo de retorno calculado para o município de Estrela entre os anos de 1940 e 2012.....	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade de pessoas afetadas pelos desastres naturais no Brasil – 1970 a 2005.	20
Tabela 2 – Densidade demográfica do Brasil – 1872 a 2010 .....	21
Tabela 3 - Probabilidade de ocorrência e tempo de retorno calculado por Rezende e Tucci (1979) para os níveis de inundação do município de Estrela. ....	41
Tabela 4 - Série histórica dos níveis máximos das inundações dos municípios de Encantado e Estrela. ....	42
Tabela 5 – Classificação das inundações ocorridas em Encantado quanto à magnitude .....	49
Tabela 6 – Tempo de retorno calculado para os níveis de inundação, a cada 50 cm, do município de Encantado, considerando os últimos 72 anos. ....	52
Tabela 7 – Tempo de retorno calculado e/ou modelado para os níveis de inundação do município de Encantado. ....	53
Tabela 8 – Comparação do tempo de retorno dos níveis de inundação do período total e dos últimos 30 anos, do município de Encantado .....	56
Tabela 9 – Relação entre os níveis das inundações dos últimos 30 anos e o tempo de retorno calculado e/ou modelado para o município de Encantado .....	57
Tabela 10 – Classificação das inundações ocorridas em Estrela quanto à magnitude .....	60
Tabela 11– Tempo de retorno calculado para os níveis de inundação, a cada 50 cm, do município de Estrela, considerando os últimos 73 anos .....	63
Tabela 12 – Tempo de retorno calculado e/ou modelado para os níveis de inundação do município de Estrela .....	65
Tabela 13 – Comparação do tempo de retorno calculado e/ou modelado neste estudo e apresentado por Rezende e Tucci (1979) para os níveis de inundação de Estrela .....	67
Tabela 14 – Comparação do tempo de retorno dos níveis de inundação do período total e dos últimos 30 anos, do município de Estrela. ....	68
Tabela 15 – Relação entre os níveis das inundações dos últimos 30 anos e o tempo de retorno calculado e/ou modelado para o município de Estrela .....	69
Tabela 16 – Comparação do tempo de retorno dos níveis de inundação de Encantado e Estrela .....	71
Tabela 17– Dez maiores inundações ocorridas em Encantado e Estrela.....	72

## **LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS**

CEOPS – Centro de Operação do Sistema de Alerta da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí-Açu

CIH - Centro de Informações Hidrometeorológicas

cm – Centímetro

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Mineirais

EM-DAT – Emergency Events Database

F – Frequência

$F_n$  - Número de vezes que um evento de certa magnitude é igualado ou superado

hab - Habitantes

km – Quilômetros

km<sup>2</sup> - Quilômetros quadrados

m – Metros

m<sup>3</sup>/s – Metros cúbicos por segundo

n – Número de anos

NR – Nível de referência

P – Probabilidade de ocorrência

R – Risco hidrológico

RS - Rio Grande do Sul

S – Sul

SE - Sudeste

SC – Santa Catarina

SPAÉ – Sistema de Previsão e Alerta de Enchentes do Vale do Taquari

SPH – Superintendência de Portos e Hidrovias

TR – Tempo de retorno

W – Oeste

$\Delta t$  – Intervalo de tempo

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	OBJETIVOS.....	15
	2.1 Objetivo geral.....	15
	2.2 Objetivos específicos .....	15
3	REVISÃO DE LITERATURA .....	16
	3.1 Desastres Naturais.....	16
	3.2 Enchentes e inundações.....	22
	3.2.1 Inundações no Vale do Taquari .....	27
	3.3 Sistemas de previsão e alerta de inundações.....	28
	3.4 Tempo de retorno de processos hidrológicos.....	33
4	METODOLOGIA.....	37
	4.1 Área de estudo.....	37
	4.1.1 Características Bacia Hidrográfica Taquari-Antas .....	38
	4.2 Procedimentos metodológicos .....	38
	4.2.1 Série histórica das inundações .....	39
	4.2.2 Cálculo da probabilidade de ocorrência e do tempo de retorno.....	39
	4.2.2.1 Extrapolação do tempo de retorno .....	40
	4.2.3 Análise dos resultados.....	41
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	42
	5.1 Análise da série histórica das inundações do município de Encantado .....	47
	5.1.1 Cálculo da probabilidade de ocorrência e do tempo de retorno.....	52
	5.2 Análise da série histórica de inundações do município de Estrela.....	58
	5.2.1 Cálculo da probabilidade de ocorrência e do tempo de retorno.....	63
	5.3 Discussão sintética dos resultados obtidos.....	70
6	CONCLUSÃO.....	74
	REFERÊNCIAS .....	78
	APÊNDICES.....	83

## 1 INTRODUÇÃO

As enchentes são mais antigas que a existência do homem na Terra (TUCCI; BERTONI, 2003). São fenômenos naturais dos regimes dos rios, presentes no ciclo hidrológico natural. Não existe rio sem ocorrência de enchentes, conseqüentemente, todo rio possui sua área natural de inundação (FILHO; SZÉLIGA; ENOMOTO, 2000; SANTOS, 2007).

As condições meteorológicas e hidrológicas propiciam a ocorrência de enchentes (TUCCI, 2012), que são decorrentes de eventos naturais de precipitações pluviométricas, geralmente, intensas e com duração suficiente para ultrapassar a capacidade natural de drenagem dos cursos de água (SILVA, 2006). Porém, além da precipitação, outro fator associado à ocorrência das enchentes são as características da bacia hidrográfica (CONTIJO, 2007).

As enchentes consistem na elevação dos níveis dos cursos da água, podendo ou não causar inundações. Quando os rios se elevam até o limite superior do canal principal ou do leito menor, caracteriza-se o estado de uma enchente. Por sua vez, as inundações ocorrem quando há o transbordamento das águas para as áreas adjacentes atingindo infraestruturas localizadas nas áreas sujeitas às inundações periódicas (GOERL; KOBAYAMA, 2005; SANTOS, 2007).

Uma vez que são fenômenos naturais, as enchentes e as inundações não são, necessariamente, sinônimos de desastres ou de catástrofes. Os impactos negativos desses fenômenos estão relacionados à presença e intervenção do ser humano nas condições e limites naturais do meio em que vive (FILHO; SZÉLIGA; ENOMOTO, 2000; SANTOS, 2007),

principalmente nas áreas naturais de inundação dos rios, que o deixa mais suscetível às consequências decorrentes desses fenômenos (TRENTIN et al., 2008).

A partir do momento que o ser humano sentiu a necessidade de se organizar em comunidades, os problemas relacionados às inundações começaram a surgir (EVANGELISTA, 2005). Em virtude dos benefícios e das necessidades, o homem sempre procurou se fixar nas áreas próximas aos rios (áreas ribeirinhas), para usá-los como meio de transporte, obter água para seu consumo e dispor seus dejetos. Estes fatores favoreceram a instalação das principais cidades em áreas ribeirinhas (SILVA, 2006).

A aceleração do desenvolvimento urbano e o crescimento significativo da população - transição demográfica - favoreceu a grande concentração de pessoas em pequenas áreas de forma desordenada, sem controle e planejamento do espaço urbano. Desta forma, o processo de urbanização acelerado gerou infraestrutura inadequada para a população, refletindo na qualidade de vida e também no meio ambiente (TUCCI, 2005; TUCCI in REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 2006).

O processo desordenado da expansão urbana permitiu e agravou a ocupação das áreas frágeis do ponto de vista ambiental (FRANK; PINHEIRO, 2003), tanto áreas ribeirinhas, sujeitas às inundações, como também das áreas sujeitas aos deslizamentos. A ocupação das áreas com elevada vulnerabilidade natural, resulta em elevado risco de ocorrência de desastres socioambientais.

A dificuldade de acesso à terra e à moradia no meio urbano, favorece a ocupação das áreas ribeirinhas, em maior proporção pela população de baixa renda (SANTOS, 2007), pois a população de maior poder aquisitivo tende a ocupar áreas mais seguras<sup>1</sup> (TUCCI; BERTONI, 2003). A presença da população nas áreas de risco deixa-as vulneráveis aos impactos sociais, ambientais e econômicos relacionados. Além disso, como apontado por Veríssimo et al. (2001 apud SILVA, 2006), com a ocupação desordenada, os cursos de água transformaram-se em grandes receptores de resíduos humanos, o que agrava e resulta em epidemias quando ocorrem inundações no meio urbano.

O interesse pela problemática das inundações, considerando suas consequências ligadas à saúde e ao saneamento, tem sido motivado pelo crescimento da consciência ambiental (CANHOLI, 2005). Alguns municípios apresentam no Plano Diretor restrições

---

<sup>1</sup> Há um grau de incerteza na utilização deste termo, pois em virtude da urbanização, aumentou-se a impermeabilização do solo, que associada aos sistemas de drenagem insuficientes eleva a ocorrência de alagamentos nos centros urbanos.

quanto o uso e ocupação do solo em áreas de risco, porém o que se observa é que a base para estas definições não possui um estudo aprofundado, sendo apenas estipuladas, sem cunho científico. As consequências oriundas deste tipo de análise podem ser observadas no momento de uma inundação, que afeta, na maioria, um número significativo de construções.

Além disso, a progressiva urbanização ocasionou uma mudança significativa na cobertura vegetal nativa, através das construções e da impermeabilização do solo, aspectos que reduzem a infiltração da água no solo e aumentam o escoamento superficial da água na superfície (TUCCI in REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 2006). Essas alterações contribuem, de forma significativa, no aumento da frequência e na intensificação das inundações no meio urbano (GOBIM FILHO; MEDEIROS, 2004).

De modo geral, a interferência humana sobre o meio ambiente altera as condições de sustentabilidade do mesmo, criando condições para a ocorrência de desastres naturais (TRENTIN et al., 2008). As inundações são o tipo de desastre natural que mais atinge o Brasil e têm aumentado nas últimas décadas, causando inclusive danos à vida humana e grandes prejuízos econômicos. A região sul do País é a segunda mais atingida pelos desastres naturais (MARCELINHO, 2008).

A previsão e o controle de eventos extremos, como as inundações, são imprescindíveis, principalmente em regiões urbanas, devido à quantidade de vidas, bens materiais, saneamento e infraestruturas envolvidos no processo (FERREIRA et al., 2007). Na operação de um sistema de alerta contra enchentes e no planejamento das áreas de risco de um município, é importante que os níveis de observação, atenção e alerta estejam associados ao tempo de retorno dos mesmos para se buscar maior segurança na ocupação das áreas vulneráveis (CASTILHO; SILVA; RODRIGUES, 1999; ECKHARDT et al., 2009).

Diante deste contexto, o presente estudo tem como objetivo calcular a probabilidade de ocorrência e o tempo de retorno de diferentes níveis de inundação para os municípios de Encantado e Estrela, situados no Vale do Taquari, Rio Grande do Sul, região inferior da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas. As inundações que ocorrerem em Encantado impactam diretamente nas que ocorrerem em Estrela, uma vez Encantado localiza-se a montante deste município. A probabilidade de ocorrência de um nível de inundação consiste no risco deste ocorrer em um ano e o tempo de retorno é o intervalo médio de tempo, em anos, em que um determinado nível pode ser igualado ou superado (PINTO et al., 1976).

A escolha dos municípios deveu-se ao fato de os mesmos apresentarem uma série histórica pareada dos níveis máximos de inundações, bem como em função da região ser atingida com frequência por estes eventos que causam impactos socioambientais e econômicos, variáveis em função da magnitude dos eventos, atingindo um grande número de pessoas<sup>2</sup>. Além disso, esses municípios não tiveram a ocupação urbana planejada quando as cidades surgiram, ou seja, desenvolveram-se de forma espontânea às margens do Rio Taquari, o que agrava os impactos relacionados com as inundações (FERREIRA et al., 2007).

Além dos fatores mencionados acima, Eckhardt (2008) no seu estudo de mapeamento das áreas inundáveis do município de Lajeado/RS, ressalta a necessidade da atualização dos cálculos da probabilidade de ocorrência e do tempo de retorno dos níveis de inundação realizados por Rezende e Tucci (1979 apud FLINTSCH, 2002), para o município de Estrela/RS, em função de muitos outros eventos terem ocorridos desde a data desta publicação.

O estudo proposto foi realizado com base na série histórica dos níveis máximos das inundações ocorridas desde o ano de 1941, para Encantado, e 1940, para Estrela, até o presente momento. Ao mesmo tempo, foi realizada uma avaliação da probabilidade de ocorrência e do tempo de retorno das inundações apenas dos últimos 30 anos, visando verificar alterações nos padrões de ocorrência das inundações. Em última análise, o estudo poderá auxiliar no planejamento da ocupação das áreas de risco de desastres naturais em função da ocorrência de inundações nos municípios acima referidos, além de contribuir para o aprimoramento do sistema de prevenção e alerta de enchentes do Vale do Taquari.

---

<sup>2</sup> Encantado: 20.510 hab. e Estrela: 30.619 hab. (IBGE, 2010).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Calcular a probabilidade de ocorrência e o tempo de retorno de diferentes níveis de inundação do Vale do Taquari/RS.

### **2.2 Objetivos específicos**

- a) Atualizar a série histórica dos níveis máximos das inundações dos municípios de Encantado e Estrela;
- b) Calcular a probabilidade de ocorrência dos diferentes níveis de inundação dos municípios de Encantado e Estrela;
- c) Calcular o tempo de retorno dos diferentes níveis de inundação dos municípios de Encantado e Estrela;
- d) Avaliar a alteração da probabilidade de ocorrência e do tempo de retorno dos níveis de inundação nos últimos 30 anos;
- e) Contribuir para o planejamento urbano dos municípios em questão;
- f) Contribuir para o aperfeiçoamento do sistema de previsão e alerta de enchentes da região do Vale do Taquari/RS.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Desastres Naturais

A partir de 1970, observou-se grande aumento dos impactos causados por desastres naturais na região sul do Brasil, bem como na América do Sul, os quais trouxeram significativos prejuízos socioeconômicos e humanos, pois não só estão mais frequentes como também intensos. Estudos mostram que a maioria dos desastres naturais estão associados aos fenômenos naturais extremos, geralmente de natureza atmosférica, como as instabilidades severas que causam dentre outras consequências, inundações e deslizamentos (MARCELINHO, 2008).

O termo desastres pode ser definido como o resultado de eventos extremos, naturais ou provocados pelo homem, sobre uma área vulnerável, na qual causam danos humanos, materiais e/ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais (SANTOS, 2007; CASTRO, 2009).

Em relação aos eventos naturais extremos, encontram-se vários fenômenos, diferenciados em quantidade e intensidade, que particularmente estão ligados à atmosfera, como por exemplo: enchentes, secas, geadas, descargas elétricas, tornados, ondas de calor, vendavais, entre outros. Estes fenômenos são intensificados por desmoronamentos de vertentes, ressacas e impactos pluviais concentrados (ECKHARDT, 2008).

Os desastres são como um bumerangue da relação entre a sociedade e a natureza, pois quanto maior a sobrecarga de capacidade do ambiente natural, maiores serão os impactos. Ou seja, quanto mais desequilibrada essa relação, através do padrão desenvolvimento socioeconômico, do aumento da utilização dos recursos e espaços naturais e da concentração

a população em áreas urbanas, mais intensa a conversão de eventos naturais em problemas sociais (FRANK; SEVEGNANI, 2009).

A quantificação de um desastre é dada em termos de intensidade, em função dos danos e prejuízos, enquanto os eventos extremos são quantificados em termos de magnitude. Sendo assim, a intensidade de um desastre depende da interação entre a magnitude do evento extremo e o grau de vulnerabilidade do sistema receptor afetado (CASTRO, 2009).

O Manual de Planejamento em Defesa Civil (CASTRO, 1999), ressalta que desastre não é o evento extremo, ou adverso como também é chamado, e sim a consequência do mesmo. Conclui também que para que se tenha um desastre é necessário que ocorra um evento extremo com magnitude suficiente para, em interação com o sistema receptor, provocar danos e prejuízos mensuráveis, e que existam sistemas receptores vulneráveis aos efeitos dos eventos.

A vulnerabilidade pode ser definida como a condição própria de uma área (sistema) que, em interação com o tipo e magnitude do evento que é induzida, resulta numa grandeza de efeitos extremos. A resposta de um meio, em relação a um evento extremo, pode ser bem diferente de um local para outro, pois está atrelada às características locais naturais e humanas (SANTOS, 2007).

Os desastres podem ser classificados quanto a sua origem em: naturais, humanos e mistos. Castro (2009) define desastres naturais como provocados por fenômenos e desequilíbrios da natureza de grande intensidade e produzidos por fatores de origem externa que atuam independente da ação humana; desastres humanos são aqueles provocados por ações ou omissões humanas, o próprio homem é agente e autor; e desastres mistos são aqueles que ocorrem quando as ações ou omissões humanas contribuem para intensificar, complicar ou agravar desastres naturais.

Quanto à origem dos desastres, Frank e Sevegnani (2009), incluem na discussão, ao avaliar o evento ocorrido no Vale do Itajaí/SC, no ano de 2008, que os aspectos sociais e humanos tiveram elevada contribuição para ocorrência e magnitude do mesmo, evidenciando que poderiam ser classificados como mistos.

Analisando as definições de Castro (2009) pode-se dizer que as inundações, por si só, são desastres naturais, pois estão relacionadas à ocorrência de eventos extremos de precipitação, ou seja, fenômenos da natureza. Porém, as consequências das inundações são agravadas pelas ações humanas, assim sendo, de acordo com as definições do mesmo autor,

pode-se dizer, também, que as inundações são desastres mistos. Porém, sobre estas classificações Marcelinho (2008) traz outras definições e conceitos.

Marcelinho (2008) diz que a diferença básica entre as duas abordagens é o nível da interferência humana e concorda que levando em conta somente este critério, os desastres naturais seriam de fato mistos. No entanto, defende que o foco da análise de um desastre não deve estar no processo e sim no fenômeno desencadeador que dispara o processo. As intervenções humanas podem intensificar e agravar um desastre natural, mas ressalta que estes fatores indicam o estado da vulnerabilidade local e não estão relacionadas com a gênese do desastre.

Considerando este fator de análise proposta pelo autor, torna-se difícil enquadrar um desastre em misto, pois no caso de uma inundação, o fator que desencadeia o processo é um evento extremo de precipitação. Portanto, considera-se o mesmo como um desastre natural, independente da vulnerabilidade das áreas afetadas. Ou seja, do ponto de vista fundamental e conceitual, deve-se optar pela classificação dos desastres em naturais e humanos (MARCELINHO, 2008). Em virtude do presente estudo estar relacionado com enchentes e inundações, irá se optar pela definição proposta por Marcelinho (2008), que classifica estes eventos como desastres naturais.

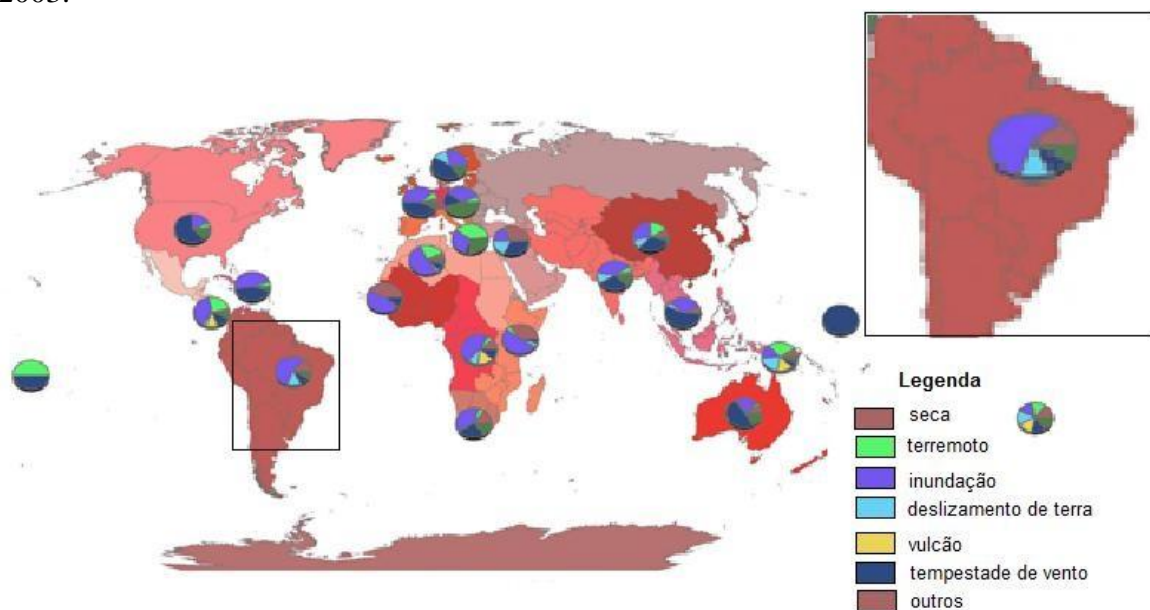
Os desastres de origem natural, como discutido acima, são desencadeados por eventos extremos e desequilíbrios da natureza (CASTRO et al., 2003). No caso das enchentes e inundações, estas estão relacionadas a eventos extremos de intensa precipitação pluviométrica em um curto período de tempo ou, também, dias consecutivos com elevada precipitação pluviométrica, que ocasionam a saturação do solo, deixando as condições favoráveis à ocorrência desses eventos. Geralmente, a ocorrência de altos volumes de precipitação pluviométrica está relacionada a instabilidades severas, que também originam outros fenômenos causadores de desastres, como, por exemplo, vendavais, tornados, granizos e deslizamentos (MARCELINHO, 2008).

Segundo Frank e Sevegnani (2009), é um equívoco acreditar que quanto maior a precipitação, maior será o impacto, pois cada vez mais se percebe que eventos de menor intensidade vem produzindo impactos negativos com magnitude cada vez maior. Partindo deste contexto, costuma-se dizer que todo desastre apresenta um princípio de continuidade entre as condições de vulnerabilidade pré-impacto e a destruição no período pós-impacto.

Observa-se que toda a destruição verificada no período pós-impacto vem sendo incubada socialmente por ações humanas, ou seja, através da má ocupação do espaço urbano e o uso de recursos naturais. O produto das escolhas da sociedade é também responsável pelos desastres causados pelas inundações, sendo estes construídos socialmente (FRANK; SEVEGNANI, 2009).

Os fenômenos naturais que ocasionam os desastres naturais afetam todo o mundo, porém alguns locais apresentam maior ocorrência de um tipo de desastres, como também são mais afetados, isto em função da magnitude e frequência dos fenômenos e da vulnerabilidade existente (MARCELINHO, 2008). A Figura 1 mostra a proporção dos principais tipos de desastres naturais que ocorreram em algumas regiões do mundo, de acordo com o banco de dados global de desastres EM-DAT (*Emergency Events Database*), referente ao período de 1974 a 2003.

Figura 1 – Distribuição dos desastres naturais por regiões do mundo, no período de 1974 a 2003.



Fonte: Adaptado de EM-DAT International Disaster Database.

A maioria das regiões do planeta é afetada pelas inundações. No Brasil, estas correspondem à maior parte dos desastres naturais. Conforme comprovado por Santos (2007), os fenômenos climáticos extremos, como as instabilidades severas, potencializadas pela ação humana, são as principais causas dos desastres no Brasil.

A preocupação com as inundações que atingem o Brasil evidencia-se pelo fato de afetarem uma quantidade considerável da população, causando danos sociais, materiais e econômicos, dependendo da sua magnitude. Nesta linha, Vestena (2008) apresenta o número

de pessoas atingidas no Brasil por várias tipologias de desastres naturais, entre os anos de 1970 e 2005 (TABELA 1). Neste período, as inundações afetaram cerca de 13 milhões de pessoas, ocupando o segundo lugar em relação ao tipo de desastre que mais afeta a população, mas que representa o primeiro lugar em relação ao número de mortes.

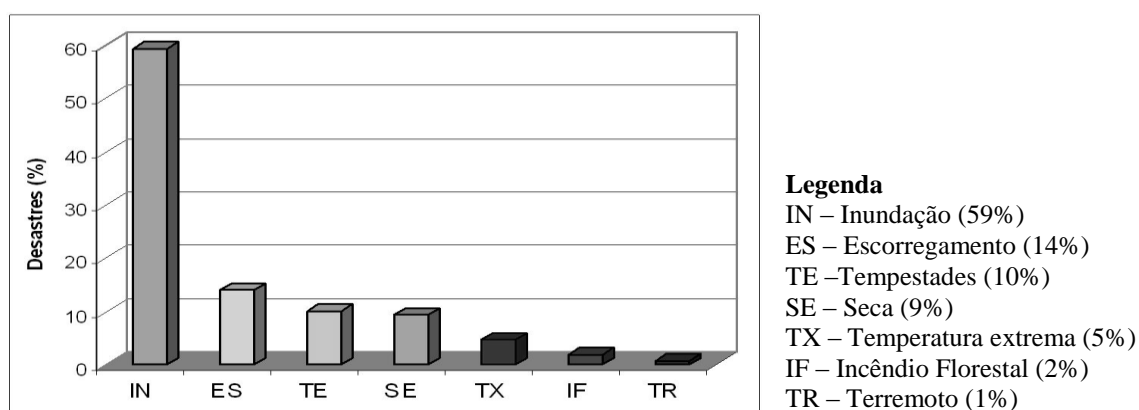
Tabela 1 - Quantidade de pessoas afetadas pelos desastres naturais no Brasil – 1970 a 2005

Tipo do desastre	Tipo do desastre	Número de Mortes	Número de Feridos	Número de Afetados	Número de Desabrigados	Número Total de Afetados
Vendaval (Wind storms)	15	343	1.588	154.800	7.740	164.128
Escorregamento/ Deslizamento	21	1.615	214	4.085.000	147.100	4.232.314
Seca	16	20	0	47.252.000	0	47.252.000
Terremoto	1	1	0	15.000	8.000	23.000
Temperatura extrema	7	323	600	0	0	600
Inundação/ Enchente	85	5.814	11.910	11.897.096	1.206.138	13.115.144
Infestação de insetos	1	0	0	2.000	0	2.000
Epidemia	10	2.029	0	532.664	0	532.664
Incêndio	3	0	0	12.000	0	12.000
<b>Total</b>	<b>159</b>	<b>10.145</b>	<b>14.312</b>	<b>63.950.560</b>	<b>1.368.978</b>	<b>65.333.850</b>

Fonte: Vestena, 2008 - a partir dos dados do EM-DAT (2005), que considera somente eventos de grande abrangência e severidade.

De acordo com a análise apresentada por Marcelinho (2008), considerando dados do EM-DAT (2007), no período de 1900 a 2006, 59% dos registros de desastres naturais no Brasil correspondem às inundações (GRÁFICO 1), sendo que mais de 84% ocorreram a partir dos anos 70, demonstrando um crescimento considerável dessa tipologia de desastre. O autor ressalta, que os dados computados pelo EM-DAT, referem-se a desastres de grande severidade, assim, o número de desastres ocorridos é mais elevado. No Brasil, o órgão responsável pelo registro dos desastres e a prestação de assistência à população é a Defesa Civil, com atuação hierarquizada no âmbito da federação, estados e municípios.

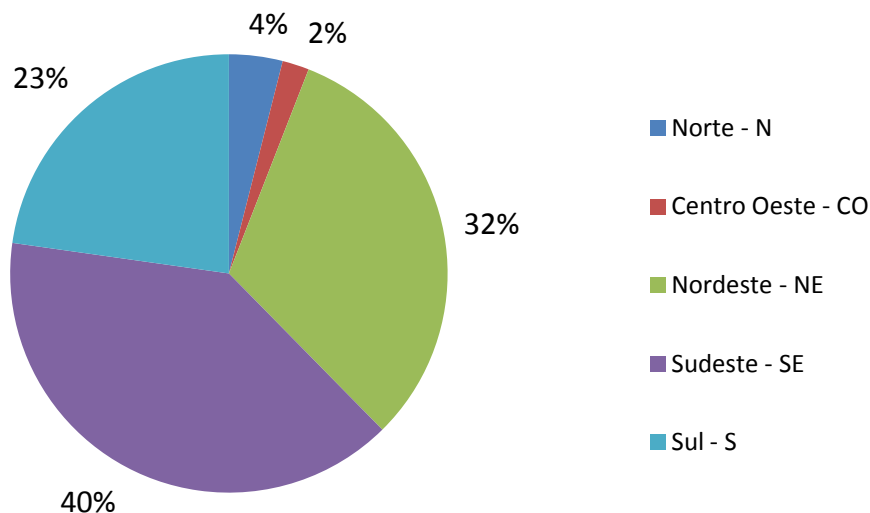
Gráfico 1 - Distribuição dos tipos de desastres naturais ocorridos no Brasil entre 1900 e 2006



Fonte: Adaptado de Marcelinho, 2008.

O mesmo autor apresenta que mais de 60% dos casos de desastres naturais ocorreram nas regiões Sudeste (SE) e Sul (S) do Brasil, especificamente 23% na região S (GRÁFICO 2).

Gráfico 2 - Porcentagem de ocorrência de desastres naturais nas regiões do Brasil



Fonte: Adaptado de Marcelinho, 2008.

Um dos motivos que contribui para o panorama apresentado no Gráfico 2 é forma de distribuição da população no território brasileiro. Conforme o levantamento realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) em relação à densidade demográfica (TABELA 2) percebe-se que nas regiões S e SE atualmente há os maiores adensamentos populacionais. Esta situação favorece a ocupação de áreas com elevada vulnerabilidade ambiental à ocorrência de desastres naturais por parte da população.

Tabela 2 – Densidade demográfica do Brasil – 1872 a 2010

Grandes Regiões	Densidade demográfica nos Censos Demográficos (hab/km <sup>2</sup> )											
	1872	1890	1900	1920	1940	1950	1960	1970	1980	1991	2000	2010
Brasil	1,17	1,69	2,05	3,60	4,85	6,11	8,34	11,10	14,23	17,26	19,92	22,43
Norte	0,09	0,12	0,18	0,37	0,42	0,53	0,76	1,09	1,76	2,66	3,35	4,12
Nordeste	2,99	3,87	4,35	7,25	9,31	11,59	14,43	18,45	22,79	27,33	30,69	34,15
Sudeste	4,34	6,60	8,46	14,77	19,84	24,39	33,60	43,62	56,87	67,77	78,20	86,92
Sul	1,28	2,54	3,19	6,28	10,18	13,92	20,64	28,95	33,63	38,38	43,54	48,58
Centro-Oeste	0,14	0,20	0,23	0,47	0,68	0,95	1,67	2,88	4,36	5,86	7,23	8,75

Fonte: IBGE, 2010.

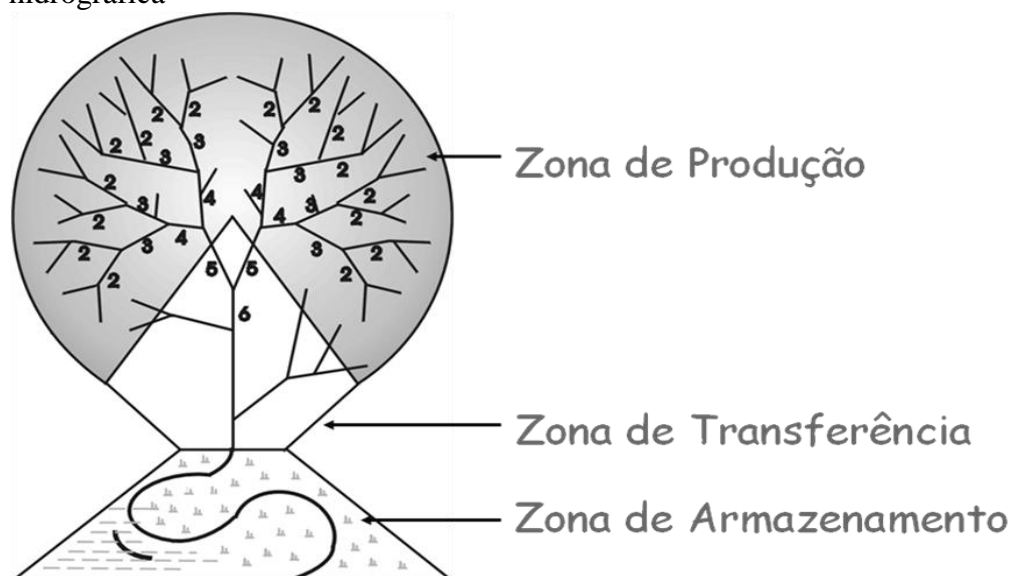
Segundo Marcelinho (2008) outro motivo que contribui, principalmente, para que a região S e SE possuam as maiores ocorrências de desastres naturais são as características geoambientais. Nessas regiões tem-se frequentemente a passagem de frentes frias no inverno, ocorrência de complexos convectivos de mesoescala na primavera e formação dos sistemas convectivos no verão, os quais originam chuvas intensas e concentradas.

### 3.2 Enchentes e inundações

O desenvolvimento urbano brasileiro apresentou significativa aceleração depois da década de 1960. Este crescimento acelerado com insuficiência ou ausência de ações de planejamento urbano resultou em infraestrutura básica inadequada para a população. Além disso, os efeitos desta situação também estão refletidos em todos os aspectos relacionados aos recursos hídricos, produzindo ambientes degradados cada vez mais suscetíveis a desastres naturais, onde as enchentes e as inundações têm-se destacado no Brasil (TUCCI in REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 2006).

As enchentes consistem em eventos naturais que ocorrem em todos ambientes fluviais desde os primórdios do planeta e da humanidade, pois são função de processos climáticos locais e regionais, com importante contribuição para a manutenção da dinâmica hidrológica e dos processos geomorfológicos da região. As enchentes envolvem toda a rede de drenagem contribuinte e decorrem do ciclo hidrológico natural (OLIVEIRA, 2010). Conforme Santos (2007), a elevação do nível do rio está associada a uma seção de escoamento fluvial, sendo que para uma mesma variação de vazão a elevação do nível da água pode ter maior ou menor magnitude, pois depende das condições físicas do curso de água, ou seja, declividade do canal e material do leito e das margens. A Figura 2 representa, de maneira, esquemática como ocorre o processo natural de escoamento das águas em uma bacia hidrográfica.

Figura 2 – Esquemática do processo natural de escoamento das águas na bacia hidrográfica



Fonte: Adaptado de Schumm, 1988.

As partes mais altas da bacia hidrográfica servem como áreas receptoras das precipitações pluviométricas, ou seja, é a zona de produção de água e de sedimentos. Após, há

uma zona de transferência, que compreende áreas com altitude intermediária, onde se inicia o processo de acúmulo das águas e de transferência de sedimentos que serão encaminhadas à zona de armazenamento, sedimentando e assoreamento os cursos de água. As áreas ribeirinhas que se situam na zona de transferência e de armazenamento da bacia hidrográfica apresentam as maiores variações de vazões e níveis das águas do rio, ou seja, nessas áreas há maior ocorrência de enchentes e inundações.

A principal causa das enchentes é a ocorrência de precipitação pluviométrica anormal, geralmente intensa e concentrada, mas também pode ter causas indiretas, como por exemplo: assoreamento, redução da capacidade de infiltração do solo, estrangulamento dos leitos dos rios, rompimento de barragens (CASTROS et al., 2003). Sobre as precipitações, Frank e Sevegnani (2009), ressaltam que não apenas eventos intensos provocam enchentes, pois quando o solo apresenta alta concentração de umidade, precipitações com intensidades menores também podem ser suficientes para gerar aumento da vazão do rio.

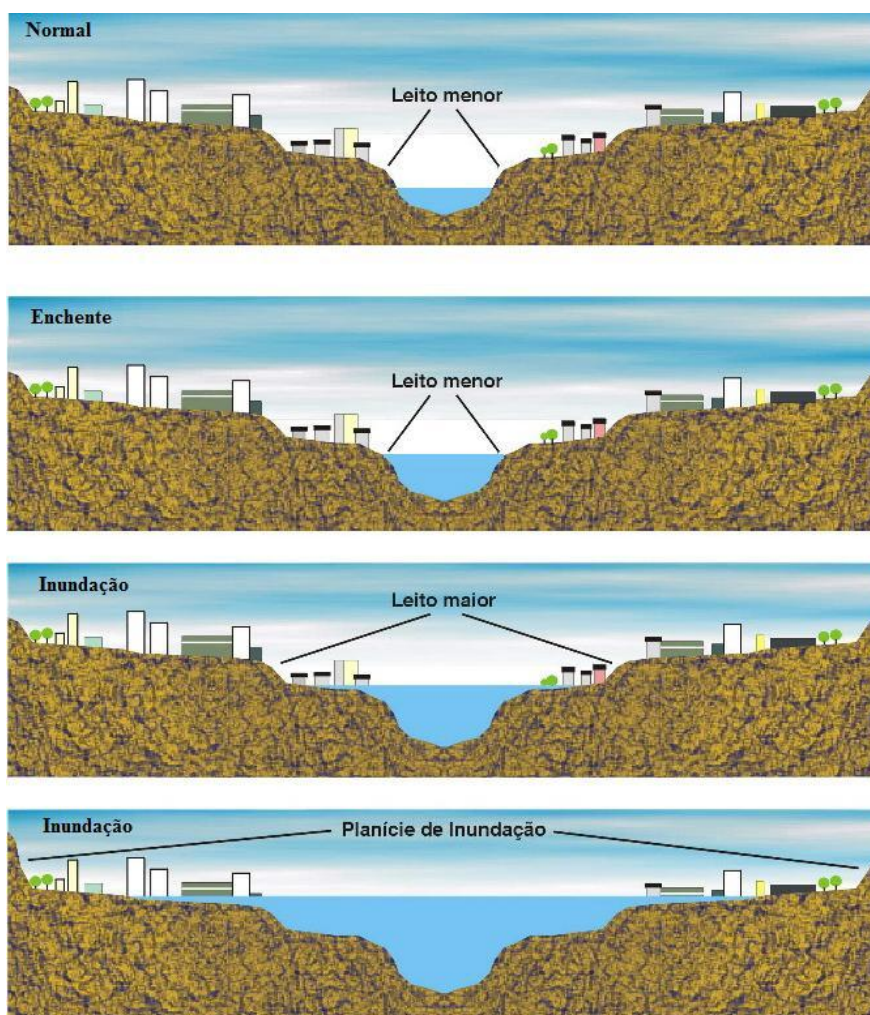
O leito fluvial, espaço ocupado pelo escoamento das águas do rio, pode ser classificado, segundo Tucci e Bertoni (2003) em dois: o leito menor, onde a água escoar na maioria do tempo e tem margens bem definidas e o leito maior, que é inundado com risco geralmente entre 1,5 e 2 anos. Guerra e Cunha (2007), ainda subdividem o leito maior em leito maior excepcional, que é ocupado somente por grandes inundações, obedecendo a intervalos irregulares de recorrência, podendo se estender por até dezenas de anos. Neste estudo, o leito maior excepcional, será apresentado como a planície de inundação.

Conforme destacado por Goerl e Kobiyana (2005), existem diversos termos relacionados ao fenômeno da elevação do nível da água dos rios em períodos de elevada precipitação pluviométrica, que aumentam a vazão e que podem causar ou não o extravasamento da água em direção à planície de inundação, ou seja, além do leito menor do curso de água. Muitos desses termos são usados erroneamente em virtude de traduções equivocadas e adaptações mal feitas de termos provenientes de línguas estrangeiras, principalmente do inglês e espanhol. Em virtude deste contexto, torna-se importante conceituar os termos envolvidos nesse processo.

Quando as águas do rio elevam-se até a altura de suas margens, contudo sem transbordar para as áreas adjacentes, é correto dizer que ocorreu uma enchente (GOERL; KOBİYAMA, 2005; FRANK; SEVEGNANI, 2009). Sendo assim, as expressões enchentes e cheias são sinônimas (SANTOS, 2007), caracterizando o mesmo fenômeno, que consiste na elevação do nível do rio dentro do leito menor, sem que ocorra o extravasamento (TUCCI;

BERTONI, 2003; TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009). A partir do momento em que as águas transbordam atingindo o leito maior ou à planície de inundação, é correto dizer que ocorreu inundação (GOERL; KOBIYAMA, 2005; FRANK; SEVEGNANI, 2009). Desta forma, como mencionado por Oliveira (2010), a inundação é uma consequência das enchentes e se constitui em um estágio mais avançado da cheia (FIGURA 3), o qual será alvo deste estudo.

Figura 3- Representação esquemática da diferença entre enchente e inundação



Fonte: Adaptado de Eckhardt, 2008.

As inundações que ocorrem em ambiente rural, geralmente, não causam danos materiais e humanos e são de grande importância para a morfodinâmica dos meios fluviais. Nestes ambientes a planície de inundação, em sua maioria, é ocupada por usos antrópicos, como pecuária, agricultura e silvicultura, o que diminui os impactos diretos à população (TUCCI et al., 1995 apud ECKHARDT, 2008).

Nas áreas urbanas, as inundações podem ser em função de dois processos, podendo estes ocorrerem de maneira isolada ou combinada: inundações das áreas ribeirinhas e inundações devido à urbanização. A inundação ribeirinha ocorre naturalmente em função de eventos extremos de precipitação, enquanto a inundação devido à urbanização está relacionada à impermeabilização do solo e ao mau dimensionamento do sistema de drenagem, resultando na maior frequência e magnitude das inundações (TUCCI, 2005).

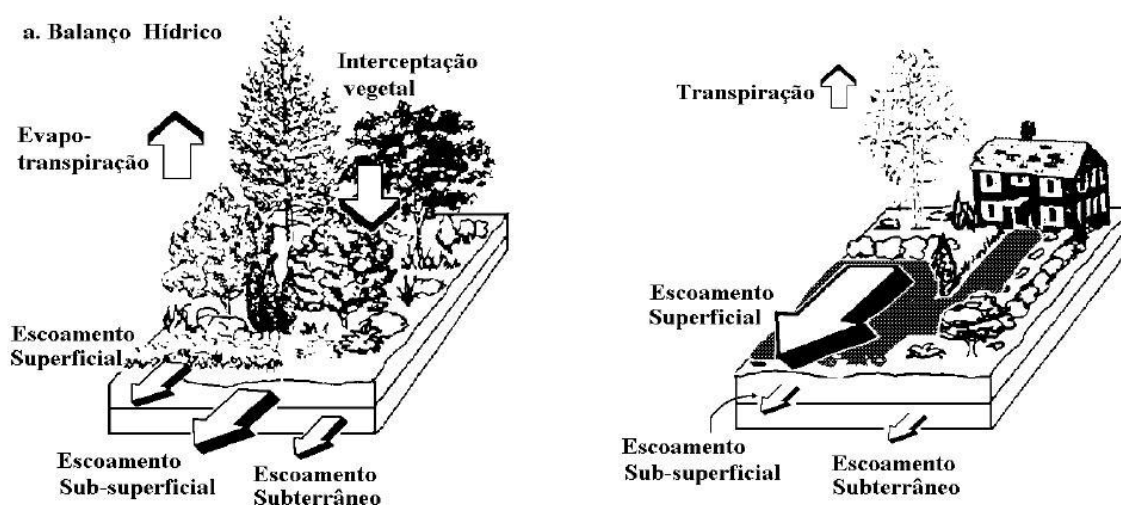
Em grandes bacias hidrográficas, as inundações caracterizam-se pela subida lenta e progressiva das águas, com extravasamento do canal principal, sendo mais fácil a previsão dos níveis nas áreas a jusante. No entanto, as áreas ficam inundadas por um período de tempo maior (SANTOS, 2007). Por sua vez, as enxurradas, de acordo com Santos (2007), são produzidas por chuvas intensas em pequenas bacias hidrográficas de elevada declividade. Desta forma, as enxurradas ocorrem concomitantemente com as inundações, diferenciando-se pela força da correnteza da água, capaz de transportar grandes quantidades de sedimentos, fragmentos florestais e equipamentos de uso antrópico (OLIVEIRA, 2010).

O impacto das inundações à população ocorre, principalmente, quando a mesma ocupa o leito maior do rio e/ou a planície de inundação, ficando vulnerável a esses eventos com frequência. Na maioria dos municípios, estas áreas são ocupadas pela população, geralmente, de baixa renda devido ao déficit no planejamento urbano, o que traz efeitos negativos associados às inundações. A ocupação desses locais sempre dependeu da memória dos habitantes e da frequência com que as inundações ocorrem, assim, uma sequência de anos sem inundações, em razão da sua irregularidade no decorrer do tempo, é motivo para que a sociedade pressione para ocupar estes locais (TUCCI in REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 2006). Além disso, uma vez ocupadas às áreas ribeirinhas, que possuem função de acomodar e amortecer as grandes inundações, as águas acabam buscando outros caminhos e atingem locais antes não inundáveis naturalmente (ROSMAN et al., 2001).

A pressão pela ocupação destas áreas sujeitas às inundações gera situações de risco para os moradores e problemas diversos de ordem socioambiental. Esse contexto está associado com a origem das principais cidades do Brasil, que se desenvolveram às margens dos cursos de água. Aliado às questões da expansão urbana desordenada e da rápida transição demográfica, houve mudanças significativas na situação da cobertura vegetal, que naturalmente apresentavam uma configuração harmônica e equilibrada (ROSMAN et al., 2001), desencadeando as inundações devido à urbanização.

As alterações produzidas no ambiente natural pela urbanização têm ampliado os efeitos das inundações nas áreas urbanas, que podem ser constatados a partir da análise do ciclo hidrológico (FIGURA 4). A substituição da cobertura vegetal nativa por áreas impermeabilizadas e construções inadequadas como pontes e aterros, implica na alteração do ciclo hidrológico natural, através da diminuição da infiltração e do escoamento subterrâneo, e aumento do escoamento superficial, provocando reflexos à erosão, assoreamento e inundações (TUCCI in REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 2006).

Figura 4 - Caracterização das alterações no uso do solo devido à urbanização e reflexo no ciclo hidrológico



Fonte: Tucci in Rebouças; Braga;Tundisi, 2006.

De forma geral, o resultado desta modificação tende a aumentar a frequência, a intensidade e acelerar o pico de uma inundação, já que ocorre o aumento da quantidade de água disponível a escoar superficialmente, em função da diminuição das barreiras naturais e o aumento da impermeabilização do solo (ROSMAN et al., 2001, BARBOSA, 2006). Por sua vez, nas áreas urbanizadas, as referidas condições têm relação direta com a intensificação dos alagamentos, que se refere ao acúmulo de água nas ruas e no perímetro urbano, quando há drenagens deficientes (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009; CASTRO, 1998 apud OLIVEIRA, 2010). Conforme apontado por Tucci e Bertoni (2003), as inundações devido à urbanização têm sido mais frequentes neste século, devido o aumento significativo da população nas cidades e a tendência dos engenheiros drenarem o escoamento pluvial o mais rápido possível das áreas urbanizadas.

Resumidamente, os impactos no meio urbano resultantes das inundações dependem do grau de ocupação da várzea do rio pela população (inundações ribeirinhas) e da impermeabilização e canalização da rede de drenagem (drenagem urbana) (TUCCI;

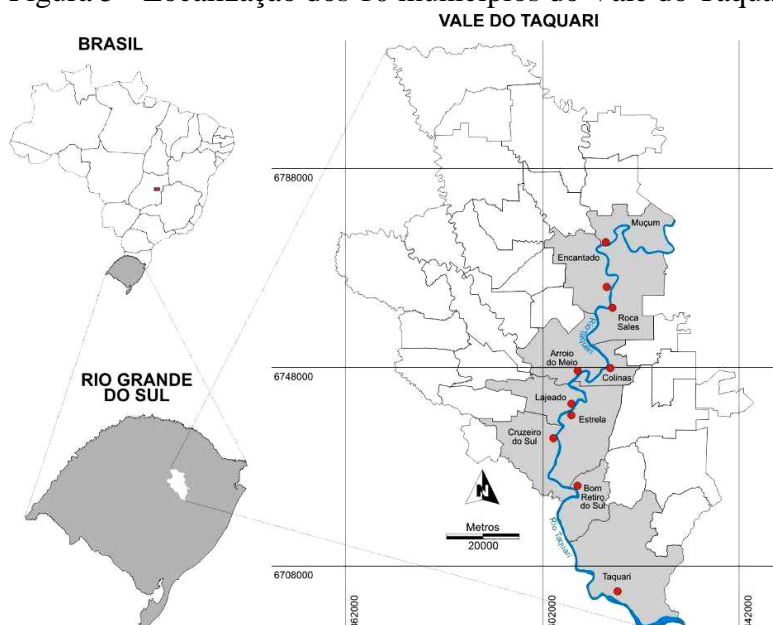
BERTONI, 2003). No entanto, cabe ressaltar que nem sempre estas duas condicionantes são as responsáveis pelo desencadeamento das inundações no meio urbano, uma vez que são eventos decorrentes de fenômenos naturais. Estes fatores são responsáveis, em parte, por ocasionar eventos de maior magnitude e intensificar os impactos gerados pelas inundações sobre as infraestruturas e a população.

### 3.2.1 Inundações no Vale do Taquari

O Vale do Taquari, inserido na região inferior da bacia hidrográfica Taquari-Antas, Rio Grande do Sul (RS), apresenta uma problemática significativa no que se refere aos impactos causados pelas inundações. As inundações sempre estiveram presentes ao longo de toda a região hidrográfica, pois os rios afluentes caracterizam-se por intensas e bruscas variações das vazões (FERRI, 1991).

As grandes flutuações da vazão da bacia, subsequentes à ocorrência de chuvas contínuas, distribuídas em áreas extensas da bacia, concentram rapidamente altos volumes de água que se propagam com velocidade rio abaixo, sendo assim, as principais inundações nesta região estão relacionadas com o extravasamento das águas do Rio Taquari, em períodos de altos volumes de chuva. Na região do baixo curso do Rio Taquari, que engloba o Vale do Taquari, são observados os maiores prejuízos causados pelas inundações, devido à alta concentração de núcleos urbanos às margens do rio (FERRI, 1991). As inundações atingem, com frequência, os 10 municípios que estão situados às margens do rio (FIGURA 5).

Figura 5 - Localização dos 10 municípios do Vale do Taquari afetados pelas inundações.



Fonte: Ferreira et al., 2007.

Segundo Ferreira e Both (2001), as inundações que ocorrem no Vale do Taquari/RS são decorrentes de fatores naturais existentes na bacia hidrográfica, tais como hidrografia, pedologia, geomorfologia, clima, vegetação, entre outros. Desta forma, ao contrário do que se poderia pensar, as inundações que ocorrem ao longo do Rio Taquari não são geradas pelas ações antrópicas, como o desmatamento, a impermeabilização do solo, as obras no canal fluvial, entre outros. Segundo os autores, estas ações tendem a intensificar o alcance das cotas de inundação, agravando os problemas causados pelas enchentes.

A intensidade dos transtornos está associada, de maneira proporcional, com a magnitude das inundações, podendo gerar efeitos negativos significativos, impactando não só o meio ambiente como um todo, mas também a vida humana e os bens materiais. Both et al. (2008) enfatizam que a irregularidade da ocorrência das inundações causa uma margem de (*in*)segurança para a ocupação das planícies de inundação, o que reflete no aumento dos gastos do poder público com a retirada da população a cada evento.

As inundações, que atingem a região em questão, geram impactos socioambientais, materiais e econômicos. Como exemplo, podem-se citar as inundações de grande magnitude ocorridas nos dias 22 de julho e 03 de outubro de 2001, que segundo estatísticas obtidas junto às Defesas Civas Municipais, nos 10 municípios localizados às margens do Rio Taquari, 4.680 famílias foram atingidas por estes dois eventos, sendo necessário desalojar 16.796 pessoas. Os prejuízos diretos em função dos danos somaram um valor aproximado equivalente a R\$ 18 milhões (CIH, 2007).

### **3.3 Sistemas de previsão e alerta de inundações**

Como mencionado, o principal tipo de desastre natural que atinge o Brasil é a inundação, que, por sua vez, está associada a eventos extremos de precipitação (CARVALHO; GALVÃO, 2006). A inundação é um fato normal da natureza, independente do desenvolvimento e modificação da sociedade nada ou quase nada se pode fazer para resolver o problema por completo (BRITO, 1944 apud PORTO ALEGRE/SPM, 1975). Os fenômenos naturais extremos fazem parte da geodinâmica terrestre e são imprescindíveis para a existência humana, responsáveis, por exemplo, pela formação do relevo. Desta forma, justifica-se a necessidade da elaboração e adoção de medidas preventivas e amenizadoras dos impactos causados pelos desastres naturais (MARCELINHO, 2008).

Os danos causados pelas inundações nas áreas urbanas podem ser menores através de medidas de correção e prevenção, que são classificadas de acordo com sua natureza. Sendo

assim, têm-se as medidas e intervenções classificadas como estruturais e não estruturais (CANHOLI, 2005). Conforme Tucci in Rebouças, Braga e Tundisi (2006), uma medida estrutural ocorre quando o homem modifica o rio e uma medida não estrutural, quando o homem convive com o rio e com as inundações.

A implantação de obras hidráulicas, que visam à correção e, de certa forma, a resolução dos problemas causados pelas inundações, é classificada como medidas de controle estruturais. Por exemplo, a construção de canalizações e obras correlatas, bacias de detenção/retenção. Em contrapartida, as medidas de controle não estruturais consistem em ações que buscam reduzir os danos ou consequências das inundações, através da implantação de normas, regulamentações e programas, ou seja, são medidas preventivas das inundações. Geralmente estas são eficazes e possuem custos mais baixos com horizontes de atuação mais longos (CANHOLI, 2005).

Como exemplos de medidas não estruturais, pode-se citar o gerenciamento de planícies de inundação (zoneamento ambiental, disciplinamento do uso e ocupação do solo, plano diretor, mapeamento das áreas inundáveis, implantação de placas indicativas dos níveis de inundação) e implementação de sistemas de alerta, os quais possuem função de prever eventos de chuva e os níveis das inundações com antecedência, visando à redução das perdas materiais e prejuízos gerais à população (CANHOLI, 2005; TUCCI in REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 2006).

A solução ideal depende de várias condicionantes, entre elas as características do rio, os benefícios da redução das enchentes e os aspectos sociais de seu impacto (TUCCI in REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 2006). Em algumas situações, pode-se ter a combinação harmoniosa entre as medidas estruturais e não estruturais visando à maior eficiência.

Conforme Silva (2006), com relação às inundações, a população exige ações da administração pública, a qual, geralmente, realiza medidas estruturais, como obras hidráulicas onerosas, na maior parte superfaturadas e não finalizadas, causando falsa sensação de segurança à população. O autor afirma que ações de prevenção de problemas deste tipo não são realizadas pelo poder público, devido à facilidade de obtenção de recursos para reestruturação do município. Isto explica o fato de países desenvolvidos investirem em soluções através de medidas não estruturais, mais econômicas e sustentáveis do ponto de vista ambiental, enquanto países em desenvolvimento priorizam as medidas estruturais, insustentáveis em termos econômicos.

As medidas não estruturais, que envolvem o gerenciamento da planície de inundação, através de regras de disciplinamento estabelecidas pelo setor público, visam permitir uma melhor convivência da população com as inundações. O planejamento das áreas inundáveis é realizado em função dos estudos hidrológicos sobre o regime deste fenômeno, a probabilidade de ocorrência dos diferentes níveis e sua expectativa de recorrência em anos (FRANK; PINHEIRO, 2003).

Sobre os sistemas de previsão e alerta de inundações, a finalidade dos mesmos é evitar o fator surpresa na população e, principalmente, facilitar a adoção das ações preventivas de isolamento e retirada de pessoas de áreas sujeitas às inundações, cuja atividade possui estreita relação com a Defesa Civil (TUCCI; BERTONI, 200; CANHOLI, 2005). A previsão de inundações em tempo real é realizada através da estimativa de níveis ou vazões futuras de determinado rio para dado instante de tempo. Desta maneira, pode-se acompanhar e projetar a evolução da onda da cheia nas áreas sujeitas às inundações (FRANK; PINHEIRO, 2003).

Para melhor eficiência dos sistemas de previsão é importante definir as cotas de inundação e de alerta do local, levando em conta o tempo de retorno dos níveis de inundação, pois este parâmetro indicará a frequência com que estes ocorrem no local, conseqüentemente, à frequência com que cada cota topográfica é atingida (CASTILHO; SILVA; RODRIGUES, 1999).

A previsão do nível que será alcançado pelo o rio depende da previsão das condições meteorológicas, as quais possuem maior confiabilidade com antecedência de algumas horas, o que implica no comprometimento de um intervalo curto de tempo para a previsão das inundações. Portanto, o tempo máximo possível de prevenção, desde o começo da precipitação, é limitado ao tempo médio do deslocamento da água da bacia à seção de interesse, o que depende das características da precipitação, da bacia hidrográfica, do relevo, da drenagem, da cobertura vegetal e do solo (OLIVEIRA, 2010). Conforme Vitte e Guerra (2004 apud OLIVEIRA, 2010), outro fator relacionado com a previsão de inundações, em tempo real, é a dificuldade de se obter uma previsão mensurável eficaz do volume de água que será drenado pelo rio, e, conseqüentemente, o nível que o mesmo irá atingir.

Para o monitoramento das chuvas e a previsão de níveis do rio, é necessário ter um sistema de coleta de informações a respeito da água precipitada e dos níveis dos rios em vários pontos da bacia hidrográfica, ou seja, uma rede de coleta de dados que seja telemétrica ou manual. Todas essas condicionantes auxiliam para a realização de modelagens matemáticas com vistas à previsão das cotas de inundação e os locais atingidos por

determinado nível de inundação (FRANK; PINHEIRO, 2003; VITTE; GUERRA, 2004 apud OLIVEIRA, 2010).

Apesar das dificuldades para o gerenciamento da planície de inundação e da melhoria dos sistemas de previsão e alerta de inundações, estas ainda são as medidas de controle não estruturais que mais contribuem para a melhor relação da sociedade com a ocorrência de eventos extremos de chuva, conseqüentemente inundações (OLIVEIRA, 2010). Atualmente, ainda são observadas poucas e isoladas ações com este propósito, como exemplo, têm-se os sistemas de previsão e alerta de inundações implantados em algumas bacias hidrográficas do Brasil.

Dentro do panorama nacional, podem-se citar alguns estados que possuem sistemas de alerta e prevenção de inundações: São Paulo, Sistema de Alerta às Inundações de São Paulo - SAISP (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009); Minas Gerais e Belo Horizonte, Sistema de Alerta da Bacia Rio Doce (CASTILHO, 2002); Santa Catarina, Sistema de Alerta de Cheias da Bacia do Itajaí (FRANK; PINHEIRO, 2003; SILVA, 2009; SILVA et al., 2010); e Rio Grande do Sul, Sistema de Previsão e Alerta de Enchentes do Vale do Taquari – SPAE (FERREIRA et al., 2007; BOTH et al., 2008).

O sistema de alerta da bacia do Itajaí, em virtude de ter apresentado resultados satisfatórios, será brevemente detalhado neste estudo. Este sistema é controlado pelo Centro de Operação do Sistema de Alerta da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí-Açu (CEOPS), que está inserido na Universidade Regional de Blumenau (FURB), desenvolve atividades de monitoramento, previsão e alerta de inundações para a comunidade do Vale do Itajaí, iniciou no ano de 1984 com atividades de monitoramento (SILVA et al., 2010). Conforme Silva (2009), a operação de um sistema de alerta é composta pela coleta de dados, armazenamento, análise, elaboração da previsão meteorológica e hidrológica e transmissão das informações.

No momento atual, o CEOPS, realiza o monitoramento do nível dos rios e a previsão hidrológica, através das informações obtidas em tempo real por dezesseis estações telemétricas que estão distribuídas na Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí-Açu, as quais transmitem dados do nível do rio e a precipitação ocorrida via celular e satélite, bem como por dezesseis observadores de campo via rádio (SILVA, 2009). A partir destas informações e modelos hidrológicos de previsão de inundações em tempo real, calibrados para a cidade de Blumenau e Rio do Sul, realizam previsões de níveis satisfatórios com 6 e 8 horas de antecedência para estes municípios (SILVA et al., 2010).

De acordo com publicações do Portal Brasil, administrado pelo Governo Federal, há uma perspectiva para implantação de um sistema de alerta de desastres naturais em nível nacional nos próximos anos, o que contribuirá de forma significativa para a redução dos danos causados pelas inundações. O Governo do Estado do Rio Grande do Sul, através do Departamento dos Recursos Hídricos e da Secretaria de Ciência, Inovação e Desenvolvimento Tecnológico, atualmente, está desenvolvendo projetos e discutindo uma política para a implantação de amplos sistemas de prevenção de desastres no âmbito estadual.

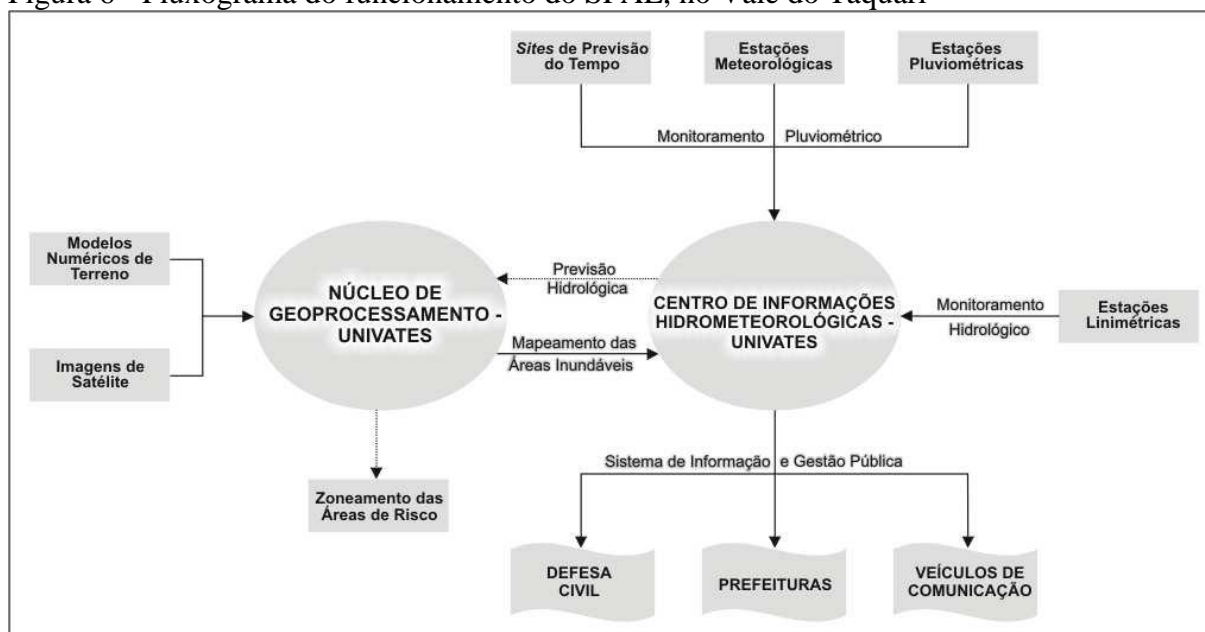
A região do Vale do Taquari, alvo deste estudo, dispunha de um sistema de alerta de inundação funcional, denominado Sistema de Previsão e Alerta de Enchentes (SPAЕ), gerenciado pelo Centro Universitário UNIVATES, Lajeado/RS. O SPAЕ iniciou suas atividades no ano de 2002, operando até o ano de 2007 com uma rede de linígrafos. Após essa data, em função da perda de equipamentos e pela alteração da tecnologia de transmissão de dados, o SPAЕ está inativo.

Conforme Ferreira et al. (2007), embora incipiente devido às limitações quanto à captação de dados e à modelagem, os quais não considerava a influência dos rios tributários, o sistema ofereceu resultados satisfatórios reconhecidos por instituições como Agência Nacional de Águas (ANA) e Defesa Civil/RS. Os autores, responsáveis pelo sistema, descrevem que o SPAЕ, possivelmente, foi pioneiro no emprego desta tecnologia no RS.

Atualmente, ações vêm sendo desenvolvidas através do projeto de “Revitalização da Infraestrutura e Aperfeiçoamento do Sistema de Previsão e Alerta de Enchentes do Vale do Taquari” (HAETINGER et al., 2010), visando à reativação completa do sistema. Este projeto envolve o Conselho de Desenvolvimento do Vale do Taquari (CODEVAT), o Centro Universitário UNIVATES e a Secretaria da Ciência, Inovação e Desenvolvimento Tecnológico (SCIT) do RS, por meio do convênio nº 21/2011, processo nº 444-25.00/11-7, com recursos para seu desenvolvimento da Consulta Popular de 2010/2011.

De maneira sucinta, o SPAЕ avalia a quantidade de água precipitada na Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, o nível do rio, projeta a possibilidade e o alcance do nível de determinada inundação, simula as áreas potencialmente inundáveis e aciona os Conselhos Municipais de Defesa Civil (FIGURA 6). O SPAЕ possui abrangência dos 10 municípios do Vale do Taquari, localizados às margens do Rio Taquari: Lajeado, Estrela, Arroio do Meio, Cruzeiro do Sul, Colinas, Roca Sales, Encantado, Muçum, Bom Retiro do Sul e Taquari (FERREIRA et al., 2007).

Figura 6 - Fluxograma do funcionamento do SPAE, no Vale do Taquari



Fonte: Ferreira et al., 2007.

Inserido neste contexto, o presente trabalho visa contribuir para o aperfeiçoamento do SPAE nas etapas da previsão hidrológica e, principalmente, do sistema de informação e gestão pública. Pois, através do conhecimento do tempo de retorno dos diferentes níveis de inundação, o qual indica a frequência destes, torna-se possível aprimorar a gestão das áreas inundáveis, desenvolvendo ações imediatas em caso de ocupação, bem como restringir seu uso caso contrário, ou seja, desenvolver ações de ordenamento territorial com base no tempo de retorno dos diferentes níveis de inundação.

### 3.4 Tempo de retorno de processos hidrológicos

O risco hidrológico resulta de um compromisso entre a proteção quase absoluta e a preocupação de limitar os custos de implantação e operação de um projeto. O risco de uma inundação é definido com base na vulnerabilidade do local, pois dependendo da ocupação deste, as consequências podem ser agravadas, por exemplo, se for uma zona comercial ou um simples estacionamento (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005). Na mesma linha, Santos (2007), afirma que quando se trata da temática das inundações, a preocupação maior é em avaliar os riscos de um evento e não seus danos causados, pois assim é possível designar a probabilidade de recorrência de um acontecimento de pequena, média ou grande magnitude num determinado intervalo de tempo.

Tucci (2012), em relação às vazões máximas de um rio, diz que se deve definir o risco aplicado a um projeto conforme os objetivos do mesmo, sendo este escolhido no momento de sua elaboração. Percebe-se que esta condicionante pode, também, ser aplicada a projetos, em especial de construções urbanas, considerando o risco do alcance do nível do rio, ao invés da vazão máxima. Os danos materiais e humanos gerados por eventos de inundações podem ser reduzidos, se os riscos de ocorrência destes forem considerados nos processos de planejamento de uso e ocupação do solo, especialmente das áreas inundáveis urbanas (SANTOS, 2007). No entanto, é importante ressaltar que os valores atribuídos são hipóteses estatísticas relacionadas ao tratamento de variáveis aleatórias, já os eventos originam-se de fenômenos naturais (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005).

O risco de uma obra é definido por referência à probabilidade de ocorrência ou superação de um dado evento ou valor, em se tratando de níveis de inundação. Desta forma se  $P$  é a probabilidade de ocorrência de um evento  $X \geq X_{ref}$  (valor de referência) tem-se que o risco hidrológico ( $R$ ) de  $X \geq X_{ref}$  ocorra ao menos uma vez em  $n$  anos, conforme Baptista, Nascimento e Barraud (2005) é:

$$R = 1 - (1 - P)^n \quad (1)$$

Podendo ser representada, também, conforme Tucci (2012) por:

$$R = 1 - (1 - 1/TR)^n \quad (2)$$

Sendo: TR o tempo de retorno de  $X \geq X_{ref}$ .

O tempo de retorno (TR), também chamado de período de retorno ou recorrência, é definido como o intervalo médio de anos (tempo), com que o evento hidrológico extremo pode ser igualado ou superado pelo menos uma vez. Sendo este obtido através do inverso da probabilidade:  $TR = 1/P$  (PINTO et al., 1976; TUCCI; BERTONI, 2003; BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005; SANTOS, 2007). Neste estudo será adotado o termo tempo de retorno.

Em função do não conhecimento da probabilidade teórica, pode-se estimá-la a partir da frequência observada desse evento. Desta forma, considera-se que a probabilidade de ocorrência do evento é igual à frequência do mesmo:  $P \approx F$ . Porém, esta relação apenas é válida quando o período de análise, ou número de observações apresenta-se em grande quantidade (PINTO et al., 1976; SANTOS, 2007).

A frequência de um evento (F) é o número de vezes que um evento de determinada magnitude (Q) é igualado ou superado em certo intervalo de tempo (SANTOS, 2007). Considerando  $F_n$  o número que um evento é igualado ou superado e  $\Delta t$  o intervalo de tempo, pode-se dizer que:  $F = F_n / \Delta t$ , sendo F igual a P. Ainda em relação à frequência, cabe destacar que muitas vezes são realizadas interpretações incorretas a seu respeito. Para sua análise é importante ter o esclarecimento que, por exemplo, se um evento com frequência de 10 anos ocorresse hoje isto não significaria que não haveria mais eventos deste tipo durante 10 anos, pois o mesmo pode ocorrer em um local em anos sucessivos ou apresentar maior intervalo. Isto significa que em média, durante um longo período, este evento tende a uma recorrência de 10 anos (GRIBBIN, 2009)<sup>3</sup>.

Relacionando-se todas as equações dos conceitos de frequência (F), probabilidade (P) e tempo de retorno (TR), pode-se descrever em uma única equação para o TR:

$$F = F_n / \Delta t, \quad (3)$$

$$P = F \quad (4)$$

$$TR = 1/P \quad (5)$$

$$TR = \frac{1}{\frac{F_n}{\Delta t}} = \frac{\Delta t}{F_n} \quad (6)$$

Os registros dos níveis de água em uma seção do rio, quando medidos em alguns horários de forma diária e no mesmo ponto, formam uma série de valores discretos instantâneos, de uma variável temporal aleatória contínua, que quantifica o processo hidrológico (TUCCI, 2012).

Os cálculos da probabilidade de ocorrência e do TR, aplicados aos diferentes níveis de inundação, são relevantes para o planejamento de áreas sujeitas às inundações e, também, no estudo da previsão destes eventos (sistemas de previsão e alerta). Como apontado por Eckhardt (2008), as inundações são fenômenos naturais imprevisíveis quanto à sua ocorrência e estes valores calculados auxiliam o prognóstico da ocorrência ou não de determinada inundação e até a estimar a magnitude e o alcance da lâmina de água sobre as áreas inundadas, garantindo potencialmente maior segurança à população.

---

<sup>3</sup>Esta importância é destacada pelo autor para precipitações, porém aplica-se igualmente à outras variáveis hidrológicas, inclusive para os níveis das inundações.

A compilação dos dados para a realização dos cálculos citados acima pode ser realizada através de séries temporais amostrais anuais ou parciais. As séries anuais utilizam os valores máximos obtidos em cada ano do período que se quer analisar, porém, embora incluam muitos dados, como ressaltado por vários autores (GRIBBIN, 2009; PACHECO; JUNIOR; MAKINO, 2009; TUCCI, 2012) desprezam os outros valores máximos do ano, desta forma podem excluir eventos extremos se dois ou mais ocorrerem em um mesmo ano.

As séries parciais utilizam os principais valores máximos ocorridos (mais extremos) em determinado período, sem incluir pequenos valores, sendo estes independentes entre si (GRIBBIN, 2009; TUCCI, 2012). De acordo com Tucci (2012), deveria ser utilizado pelo menos um valor por ano. Pacheco, Junior e Makino (2009), ainda, indicam que se pode trabalhar com o critério de séries completas, nas quais adotam-se todos valores existentes para sua formação.

Santos (2007), afirma que para se determinar a frequência de um evento extremo pode-se somente considerar um único evento máximo por ano. Ressalta que em um ano, embora ocorram vários eventos superiores às cheias máximas de anos anteriores, estes eventos ocorreram no mesmo ano, sendo assim não são considerados eventos extremos.

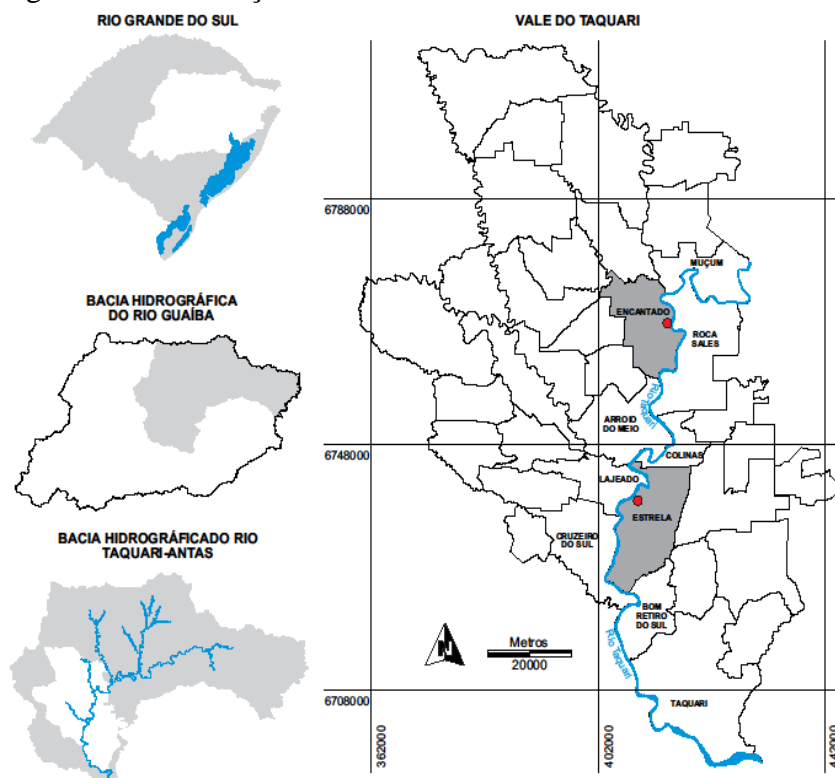
Neste estudo, em função da dificuldade de se obter os níveis máximos alcançados pelo rio em todos os anos do período de análise, bem como com o intuito de considerar todos os eventos de inundações independentes que tenham ocorrido em um mesmo ano e por serem importantes apenas os níveis que geraram inundações, optou-se pela utilização de uma série de dados temporais parciais.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Área de estudo

O presente estudo foi desenvolvido no Vale do Taquari, região inferior da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, localizado geograficamente na região centro do RS e constituído por 36 municípios, sendo que 10 situam-se às margens do Rio Taquari (BDR, 2011). Estes municípios são atingidos com frequência por inundações, que dependendo da sua magnitude causam danos socioambientais, materiais e econômicos significativos. A coleta de dados para o desenvolvimento do estudo foi realizada em 2 pontos do Rio Taquari, nos municípios de Encantado e Estrela (FIGURA 7).

Figura 7 – Localização da área de estudo



#### **4.1.1 Características Bacia Hidrográfica Taquari-Antas**

A Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas apresenta uma área de 26.428 km<sup>2</sup>, correspondendo a 9% do território estadual e está localizada entre as coordenadas geográficas 28°10'S a 29°57'S e 49°56'W 52°38'W. O Rio Taquari-Antas possui uma extensão de 530 km desde as nascentes até a foz, sendo 390 km denominado de Antas e 140 km, Rio Taquari (FEPAM, 2012, texto digital).

O Rio Taquari nasce com a denominação de Antas no extremo leste do Planalto dos Campos Gerais, nos municípios de Cambará do sul, Bom Jesus e São José dos Ausentes mudando de denominação na confluência com o rio Carreiro, o qual faz divisa na sua parte final com os municípios de Cotiporã e São Valentim do Sul. Após o município de Muçum o Rio Taquari corre na direção norte-sul, apresentando apenas pequenas variações do nível no seu curso, descendo cerca de 25 metros de altitude em 140 quilômetros de extensão, até desembocar no rio Jacuí, junto à cidade de Triunfo (FERRI, 1991; FEPAM, 2012, texto digital).

Este trajeto, após o Muçum, é chamado de baixo curso, ou região inferior, do Rio Taquari-Antas e apresenta margens relativamente pouco elevadas, ficando estas sujeitas às inundações periódicas (FERRI, 1991). Conforme dados apresentados pela FEPAM (2012, texto digital), a vazão média do rio Taquari, na localidade de Muçum, foi de 321 m<sup>3</sup>/s no período de 1940 a 1982, sendo que as vazões máximas chegaram a 10.300 m<sup>3</sup>/s, enquanto as mínimas entre 10 e 20 m<sup>3</sup>/s.

#### **4.2 Procedimentos metodológicos**

Tendo em vista os objetivos deste estudo, realizou-se, inicialmente, o levantamento das inundações ocorridas nos municípios de Encantado e Estrela, o que gerou a atualização da série histórica de inundações de cada município e permitiu uma análise preliminar da situação das mesmas. Após, tendo a série histórica como base, calculou-se a probabilidade de ocorrência em um ano e o TR dos diversos níveis de inundações para cada município e, então, realizou-se a análise e discussão final dos resultados. A Figura 8 apresenta o fluxograma resumido das etapas do estudo realizadas para Encantado e Estrela.

Figura 8 – Fluxograma das etapas do estudo realizadas para cada município



#### 4.2.1 Série histórica das inundações

Conforme apresentado por Garcez e Alvarez (2002), as pesquisas hidrológicas referenciam-se em séries históricas, ou seja, observações sistemáticas no decorrer de um determinado intervalo de tempo. Enfatiza que os dados dos níveis atingidos por inundações são elementos de natureza histórica e não experimentais, portanto não podem ser comprovados por repetição de experimentos, sendo assim são imprescindíveis observações continuadas para que se tenha sucesso em análises, comparações e verificações realizadas.

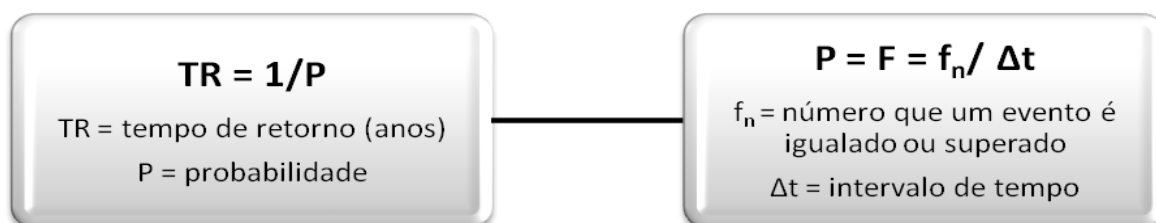
As séries históricas dos níveis máximos das inundações dos municípios de Encantado e Estrela foram elaboradas com base nos registros cedidos pelo Centro de Informações Hidrometeorológicas (CIH) da Univates, Porto Fluvial de Estrela, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), Superintendência de Portos e Hidrovias (SPH - antigo DEPREC) e o levantamento apresentado no estudo de Eckhardt (2008).

#### 4.2.2 Cálculo da probabilidade de ocorrência e do tempo de retorno

Para o cálculo da probabilidade de ocorrência em um ano e do TR de diferentes níveis de inundações dos municípios utilizou-se as equações apresentadas na Figura 9, levando em consideração que a  $P$  pode ser igualada à  $F$  com que cada evento ocorreu no período de análise, em virtude de não se conhecer a probabilidade teórica. Estas equações foram estabelecidas com base nas definições apresentadas por vários autores na revisão bibliográfica

deste estudo, sendo aceitas para o cálculo do TR quando considerado um longo período de tempo.

Figura 9 – Equações utilizadas para o cálculo da probabilidade de ocorrência e o tempo de retorno dos níveis de inundação



O TR foi calculado para todos os níveis a cada 10 cm, a partir do nível de inundação de cada município, utilizando-se uma série de dados temporais parciais, ou seja, os níveis máximos das inundações registrados dentro de um contexto histórico, excluídos os eventos associados. Um evento de inundação é considerado associado quando o mesmo apresenta influência da alteração do nível do rio de um evento ocorrido dias antes do mesmo. Calculou-se o TR considerando os registros de inundações de todo o período histórico e também para os registros referentes aos últimos 30 anos (1983 a 2012), para melhor avaliar a frequência das inundações.

#### 4.2.2.1 Extrapolação do tempo de retorno

O ajuste existente entre os níveis de inundação (x) de cada município com o TR calculado (y) permitiu encontrar uma função matemática que melhor representasse a distribuição dos dados observados, para então realizar a extrapolação do TR para os níveis de inundação acima daqueles registrados durante a série histórica obtida no presente estudo.

Para encontrar a função mais adequada para extrapolar o TR dos dois municípios utilizou-se o *software* LAB Fit Ajuste de Curvas, por apresentar validade científica, no qual os ajustes das curvas são feitos através de regressão, baseado no método dos mínimos quadrados. O *software* ajusta todas as funções de sua biblioteca aos dados inseridos pelo menor valor do qui-quadrado reduzido referente a cada ajuste. A biblioteca deste *software* possui mais de 200 funções de uma variável independente e mais de 280 funções com duas variáveis independentes (SILVA et al., 2004).

Realizou-se testes, para os dois municípios, com o TR calculado através da série histórica para níveis de inundação intercalados a cada 1 e 10 cm. Para o município de Encantado o melhor ajuste ocorreu com intervalo de 1 cm para os níveis. Por sua vez, para Estrela, o melhor ajuste matemático ocorreu com um intervalo de 10 cm.

### 4.2.3 Análise dos resultados

Os resultados obtidos foram analisados de forma quantitativa, visando identificar o comportamento de ocorrência das inundações nos dois municípios, principalmente, quanto aos valores da probabilidade de ocorrência e do TR de cada nível de inundação. Além disso, teve-se como princípio identificar a tendência das alterações do padrão de ocorrência das variáveis calculadas nos últimos 30 anos na região em questão e os fatores associados.

Os TRs obtidos para o município de Estrela foram comparados com os valores apresentados por Flintsch (2002), calculados pelos Engenheiros Hidrólogos Bruno Rezende e Carlos Tucci, no ano de 1979 (TABELA 3), a fim de melhorar a confiabilidade da análise da alteração dos padrões de ocorrência dos eventos.

Tabela 3 - Probabilidade de ocorrência e tempo de retorno calculado por Rezende e Tucci (1979) para os níveis de inundação do município de Estrela.

Nível de Inundação (m)	Probabilidade de Ocorrência (%)	Tempo de Retorno (anos)
20,00	49,00	2,04
21,00	41,00	2,44
22,00	33,00	3,03
23,00	25,00	4,00
24,00	20,00	5,00
25,00	15,00	6,66
26,00	10,00	10,00
27,00	7,70	13,00
28,00	5,30	19,00
29,00	3,70	27,00
30,00	2,50	40,00
31,00	1,60	63,00
32,00	1,00	100,00

Fonte: Rezende e Tucci, 1979 apud Flintsch, 2002.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Toda a análise dos resultados teve início com a atualização das séries históricas dos níveis máximos das inundações dos municípios de Estrela e Encantado, considerando apenas os eventos independentes. A série de Encantado tem como base os registros existentes entre os anos de 1941 e 2012, totalizando 72 anos de análise. No município de Estrela, a série compreende os registros existentes entre os anos de 1940 e 2012, totalizando um período de análise de 73 anos (TABELA 4).

Tabela 4 - Série histórica dos níveis máximos das inundações dos municípios de Encantado e Estrela.

ENCANTADO			ESTRELA		
Data	Nível máximo da inundação (m)	Nível de Referência (m)	Data	Nível máximo da inundação (m)	Nível de Referência (m)
-	-	-	<b>18/07/1940</b>	26,40	13,00
<b>06/05/1941</b>	47,25	27,77	<b>06/05/1941</b>	29,92	13,00
<b>17/11/1941</b>	38,52	27,77	<b>18/11/1941</b>	25,93	13,00
<b>19/05/1942</b>	39,77	27,77	<b>20/05/1942</b>	23,90	13,00
<b>25/06/1944</b>	38,24	27,77	-	-	-
<b>27/01/1946</b>	45,47	27,77	<b>27/01/1946</b>	27,40	13,00
<b>02/08/1948</b>	38,37	27,77	-	-	-
<b>17/10/1950</b>	44,37	27,77	-	-	-
<b>16/09/1953</b>	41,37	27,77	-	-	-
<b>01/07/1954</b>	40,09	27,77	-	-	-
<b>27/09/1954</b>	46,27	27,77	<b>27/09/1954</b>	27,35	13,00
<b>19/05/1955</b>	38,22	27,77	-	-	-
<b>05/04/1956</b>	47,10	27,77	<b>06/04/1956</b>	28,86	13,00
<b>08/09/1957</b>	41,27	27,77	-	-	-

continua

Tabela 4 - Série histórica dos níveis máximos das inundações dos municípios de Encantado e Estrela

ENCANTADO			ESTRELA		
Data	Nível máximo da inundação (m)	Nível de Referência (m)	Data	Nível máximo da inundação (m)	Nível de Referência (m)
12/06/1958	40,49	27,77	-	-	-
26/04/1959	39,02	27,77	-	-	-
22/06/1959	44,36	27,77	-	-	-
01/09/1960	40,75	27,77	-	-	-
29/09/1961	41,42	27,77	30/09/1961	22,80	13,00
26/10/1961	39,23	27,77	-	-	-
27/09/1963	38,04	27,77	-	-	-
11/10/1963	40,55	27,77	-	-	-
18/10/1963	38,46	27,77	18/10/1963	22,70	13,00
19/08/1965	46,23	27,77	-	-	-
21/08/1965	44,34	27,77	22/08/1965	26,40	13,00
06/09/1965	42,67	27,77	-	-	-
15/07/1966	38,27	27,77	-	-	-
05/08/1966	39,68	27,77	06/08/1966	22,00	13,00
20/09/1967	45,23	27,77	21/09/1967	26,33	13,00
16/03/1971	38,17	27,77	-	-	-
09/06/1972	38,25	27,77	-	-	-
29/08/1972	42,72	27,77	29/08/1972	23,40	13,00
20/09/1972	39,41	27,77	21/09/1972	21,20	13,00
19/09/1973	40,11	27,77	-	-	-
10/08/1975	38,12	27,77	-	-	-
09/08/1976	41,71	27,77	-	-	-
02/08/1977	41,80	27,77	03/08/1977	21,10	13,00
18/08/1977	42,68	27,77	19/08/1977	23,90	13,00
30/07/1980	41,57	27,77	30/07/1980	21,08	13,00
23/08/1980	41,52	27,77	23/08/1980	21,70	13,00
28/06/1982	43,41	27,77	29/06/1982	24,96	13,00
24/10/1982	41,33	27,77	24/10/1982	22,70	13,00
12/11/1982	40,17	27,77	12/11/1982	21,20	13,00
02/05/1983	39,42	27,77	03/05/1983	20,45	13,00
06/07/1983	44,47	27,77	07/07/1983	24,75	13,00
01/08/1983	39,03	27,77	02/08/1983	20,26	13,00
18/08/1983	42,62	27,77	18/08/1983	22,84	13,00
09/07/1984	39,04	27,77	09/07/1984	20,45	13,00

continuação

Tabela 4 - Série histórica dos níveis máximos das inundações dos municípios de Encantado e Estrela

ENCANTADO			ESTRELA		
Data	Nível máximo da inundação (m)	Nível de Referência (m)	Data	Nível máximo da inundação (m)	Nível de Referência (m)
07/08/1984	39,01	27,77	-	-	-
10/10/1986	38,02	27,77	11/10/1986	19,60	13,00
14/05/1987	39,32	27,77	15/05/1987	19,65	13,00
29/07/1987	39,30	27,77	30/07/1987	21,35	13,00
15/08/1987	39,13	27,77	15/08/1987	19,65	13,00
10/06/1988	38,47	27,77	-	-	-
14/09/1988	43,97	27,77	14/09/1988	24,25	13,00
25/09/1988	39,09	27,77	25/09/1988	22,40	13,00
05/07/1989	40,21	27,77	06/07/1989	20,65	13,00
12/09/1989	46,12	27,77	13/09/1989	25,90	13,00
24/09/1989	46,16	27,77	25/09/1989	25,90	13,00
31/05/1990	47,24	27,77	01/06/1990	26,64	13,00
13/10/1990	41,32	27,77	13/10/1990	22,10	13,00
27/12/1991	38,32	27,77	-	-	-
28/05/1992	46,17	27,77	29/05/1992	25,35	13,00
05/07/1993	41,17	27,77	06/07/1993	21,15	13,00
04/08/1997	45,77	27,77	04/08/1997	25,60	13,00
16/10/1997	38,27	27,77	16/10/1997	19,70	13,00
01/11/1997	38,02	27,77	-	-	-
15/08/1998	41,57	27,77	16/08/1998	21,55	13,00
14/10/2000	43,47	27,77	14/10/2000	23,45	13,00
21/07/2001	46,47	27,77	21/07/2001	26,30	13,00
01/10/2001	47,35	27,77	02/10/2001	26,95	13,00
12/06/2002	42,04	27,77	13/06/2002	22,20	13,00
02/07/2002	38,17	27,77	03/07/2002	19,45	13,00
21/02/2003	42,77	27,77	21/02/2003	21,70	13,00
-	-	-	09/07/2003	19,65	13,00
27/10/2003	39,22	27,77	27/10/2003	20,74	13,00
16/12/2003	38,34	27,77	16/12/2003	20,38	13,00
19/05/2005	40,72	27,77	19/05/2005	20,94	13,00
17/10/2005	43,06	27,77	17/10/2005	22,95	13,00
27/07/2006	38,81	27,77	27/07/2006	19,86	13,00
11/07/2007	45,64	27,77	11/07/2007	24,52	13,00
24/09/2007	46,42	27,77	24/09/2007	26,25	13,00

continuação

Tabela 4 - Série histórica dos níveis máximos das inundações dos municípios de Encantado e Estrela

ENCANTADO			ESTRELA		
Data	Nível máximo da inundação (m)	Nível de Referência (m)	Data	Nível máximo da inundação (m)	Nível de Referência (m)
26/10/2008	46,67	27,77	27/10/2008	26,65	13,00
10/08/2009	39,34	27,77	10/08/2009	21,55	13,00
12/09/2009	44,67	27,77	13/09/2009	24,50	13,00
28/09/2009	40,99	27,77	28/09/2009	21,75	13,00
05/01/2010	40,17	27,77	05/01/2010	23,95	13,00
23/09/2010	41,07	27,77	23/09/2010	21,55	13,00
27/03/2011	39,12	27,77	27/03/2011	19,50	13,00
21/07/2011	47,27	27,77	21/07/2011	26,85	13,00
09/08/2011	44,05	27,77	10/08/2011	24,66	13,00
20/09/2012	42,07	27,77	20/09/2012	21,25	13,00

conclusão

Com base nos dados apresentados acima, observou-se a ocorrência de 90 inundações no município de Encantado em 72 anos e 66 inundações no município de Estrela em 73 anos. Esta diferença está associada, principalmente, ao início das medições por meio de régua limimétricas nos dois municípios. No município de Encantado as medições iniciaram no final do ano de 1941, já em Estrela iniciaram juntamente com as operações do Porto Fluvial, no ano de 1977. Em virtude desta condicionante e, conseqüentemente, da existência de muitos registros históricos para o município de Estrela, os níveis menores nem sempre foram registrados, conferindo falhas na série levantada.

Conforme Tucci (2012), em qualquer posto fluviométrico podem existir informações históricas que ocorreram antes da operação do mesmo, sendo que estes níveis podem ser os maiores já ocorridos. Apesar desta situação, o autor ressalta que estas informações devem ser incorporadas à análise de frequência, pois auxiliam no melhor ajuste da distribuição. Outro fator contribuinte para que a série histórica levantada não se apresente totalmente pareada é a possibilidade de não ocorrência de inundação ao mesmo tempo nos dois municípios; o que pode ocorrer, principalmente, quando há pequenas oscilações de nível.

Salienta-se que os dados apresentados na tabela acima referem-se apenas aos níveis de inundações. No município de Estrela, o nível de 13 m é considerado como nível de referência (NR) do Rio Taquari, relacionado ao nível médio do mar. Conforme apontado por Eckhardt et al. (2009), a partir do nível de 19 m inicia-se o estado de inundação no município. Observa-se, portanto, que é necessária a elevação de 6 m do nível de água do Rio Taquari em relação ao

NR para se ter inundação na área urbana de Estrela. Em relação à magnitude das inundações no município, de acordo com o CIH, caracteriza-se uma inundação como reduzida quando esta atinge nível entre 19 e 22 m, como média entre 22 e 25 m, como grande entre 25 e 28 m, e como extrema acima dos 28 m.

No município de Encantado, o nível de 27,77 m é considerado como NR do Rio Taquari, também ajustado com o nível médio do mar. De acordo com informações do município, por volta do nível de 38 m começam a ocorrer inundações na área urbana, sendo utilizado este nível como limite inferior para a contagem dos eventos de inundação. Portanto, é necessária a elevação de 10,23 m do nível da água partindo do NR no município. Quando o nível do rio atinge a cota de 42 m, grande parte das infraestruturas é atingida. Quanto à magnitude dos eventos no município, caracteriza-se uma inundação como reduzida quando esta atinge nível entre 38 e 41 m, como média entre 41 e 44 m, como grande entre 44 e 47 m e como extrema acima de 47 m.

O aumento do nível do Rio Taquari, necessário para começar a ocorrer o extravasamento das águas para a planície de inundação, é maior no município de Encantado (10,23 m) se comparado com Estrela (6 m). Esta variação pode ser explicada pela diferença do relevo e do nível do talude existente nos dois municípios (FIGURA 10). O município de Encantado apresenta relevo mais acidentado do que Estrela.

Figura 10 – Imagem de satélite da região de estudo



Fonte: Google Earth

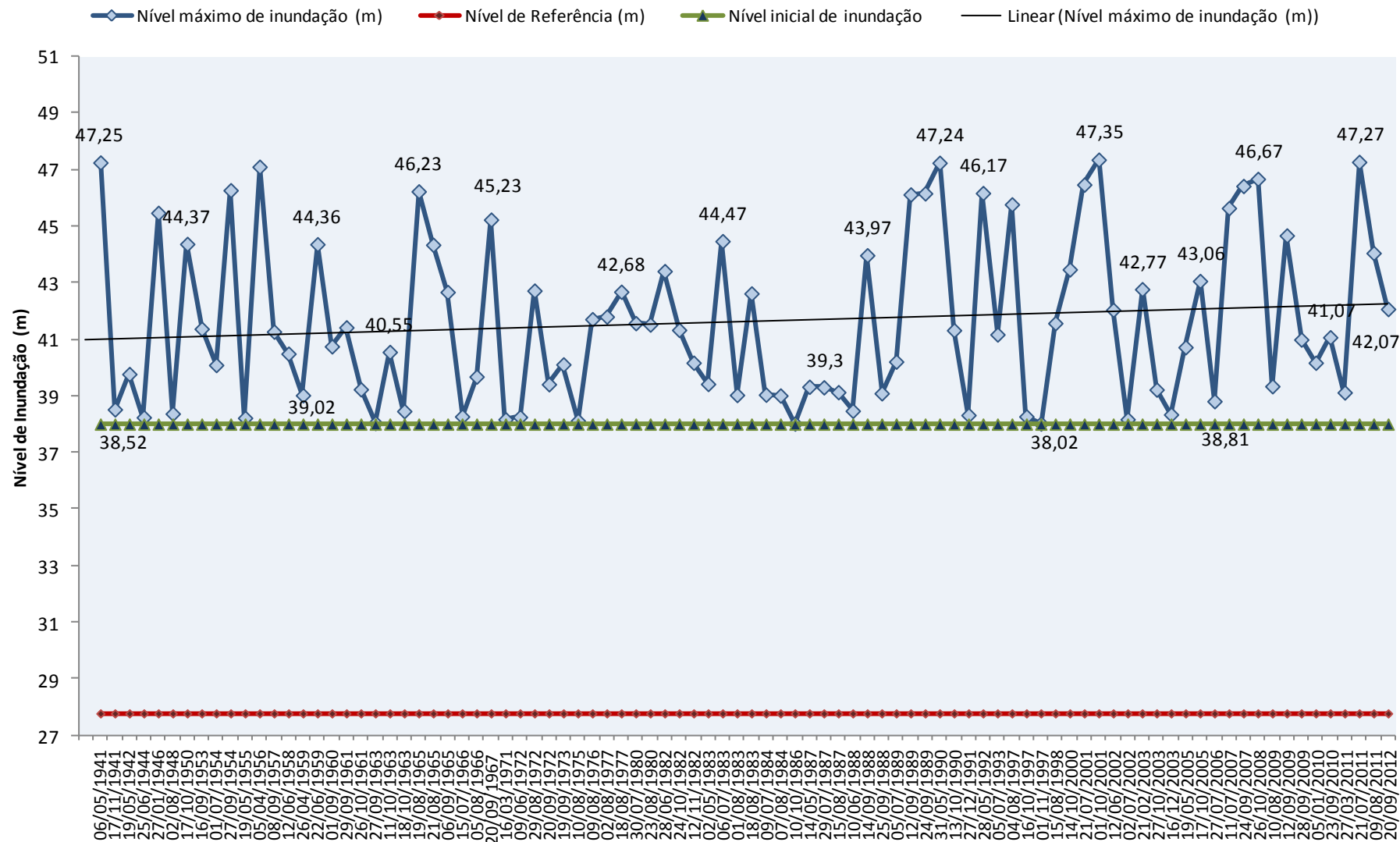
### 5.1 Análise da série histórica das inundações do município de Encantado

A série histórica dos níveis máximos das inundações ocorridas no município de Encantado, entre os anos de 1941 e 2012, teve como base os registros do CIH da Univates, CPRM, SPH e Porto Fluvial de Estrela, os quais são referentes a leituras efetuadas manualmente em régua linimétrica instalada no município. Em função do início das operações do posto fluviométrico ter ocorrido somente no final do ano de 1941, a inundação ocorrida no começo desse ano é baseada em um registro histórico existente no CIH. Dentre os dados levantados, há variação quanto a sua apresentação, em alguns períodos os dados são referentes à média diária do nível do rio, em outros à uma leitura diária ou três leituras diárias e em períodos isolados à leituras horárias.

É importante destacar que a régua linimétrica existente em Encantado, utilizada para realizar as leituras pelas entidades acima, de acordo com relatos dos meios de comunicação local, possuía altura máxima de 19 m até o ano de 2011, ou seja, o nível máximo do rio que podia ser aferido na régua era o nível altimétrico de 46,77 m. A partir deste ano (2012), foi instalada uma nova régua com altura máxima de 20 m. Diante desta situação, todos os níveis acima de 46,77 m, apresentados na série histórica do município, são estimativas do nível máximo ocorrido durante o evento, tendo como base o nível alcançado nos municípios próximos. Esta condicionante agrega incertezas, principalmente, com relação ao maior nível registrado no município no período de análise. No entanto, em função da inexistência de equipamentos automáticos de medição no local, para registrar as oscilações do nível do rio, e terem-se apenas dados estimados dos maiores eventos de inundação, no presente estudo estes serão considerados. No Gráfico 3 é apresentada a série histórica das inundações do município de Encantado, identificando o NR do Rio Taquari (27,77 m) e o nível inicial de inundação adotado (38 m).

Durante os 72 anos analisados, a maior parte das inundações atingiu níveis entre 38 e 42 m (cerca de 62% dos eventos) e neste período os níveis apresentam uma amplitude de 9,33 m. O maior nível atingido pelo Rio Taquari em Encantado foi 47,35 m, no dia 01 de outubro de 2001, ou seja, houve a elevação de 19,58 m com relação ao nível de referência. A análise da série histórica indica que houve a proporção de 1 inundação a cada 9 meses e meio, o que traz uma grande probabilidade de ocorrência de um evento por ano. Estes dados justificam a problemática do município com relação aos danos provocados pelo fenômeno das inundações.

Gráfico 3 – Série histórica dos níveis máximos das inundações registrados no município de Encantado entre os anos de 1941 e 2012



Observando somente os últimos 30 anos da série histórica, percebe-se que mais de 50% dos eventos foi registrado neste período (48 eventos), o que indica um aumento da frequência das inundações no município. Neste período, a proporção diminuiu para 1 evento a cada 7 meses e meio. Os registros das inundações também foram classificados quanto à magnitude dos mesmos (TABELA 5).

Tabela 5 – Classificação das inundações ocorridas em Encantado quanto à magnitude

Magnitude	Período de análise: 72 anos		Período de análise: 30 anos		Variação (%)
	Nº de ocorrência	%	Nº de ocorrência	%	
Reduzida (38 - 41m)	44	48,89	23	47,91	+6,72
Média (41,01- 44m)	23	25,56	11	22,92	-10,32
Grande (44,01- 47m)	18	20,00	11	22,92	+14,60
Extrema (>47,01m)	5	5,55	3	6,25	+12,61
Total	90	100,00	48	100,00	-

Analisando a série completa, observa-se que a maior parte das inundações atingiu a magnitude reduzida (48,89%). As inundações de magnitudes média e grande ocorreram em número significativo, representando 25,56% e 20% do total de eventos, respectivamente. Já as inundações de magnitude extrema ocorreram em menor quantidade, representando apenas 5,55% do total. Analisando os últimos 30 anos, o número de ocorrências de inundações quanto à magnitude segue na mesma linha da série completa, ocorrendo em maior número eventos com magnitude reduzida (47,91%). Percebe-se que houve acréscimo das inundações de magnitude reduzida (+6,72%), grande (+14,60%) e extrema (+12,61%). Apenas as inundações de magnitude média apresentaram redução de 10,32% com relação ao ocorrido na série completa.

Estes aspectos apresentados acima evidenciam o aumento da frequência de inundações no município nos últimos 30 anos. Porém, ao observar os níveis dos eventos e a linha de tendência apresentada no Gráfico 3, percebe-se a tendência de ocorrência de inundações com níveis mais elevados nos últimos 30 anos em comparação ao início da análise da série histórica.

Os Gráficos 4 e 5 apresentam a distribuição das inundações do município em meses e estações do durante os últimos 72 anos. Os meses das estações do ano foram agrupados da seguinte forma: janeiro, fevereiro e março na estação do verão; abril, maio e junho no outono; julho, agosto e setembro no inverno; e outubro, novembro e dezembro na primavera.

Gráfico 4 – Distribuição do número de inundações por mês no município de Encantado

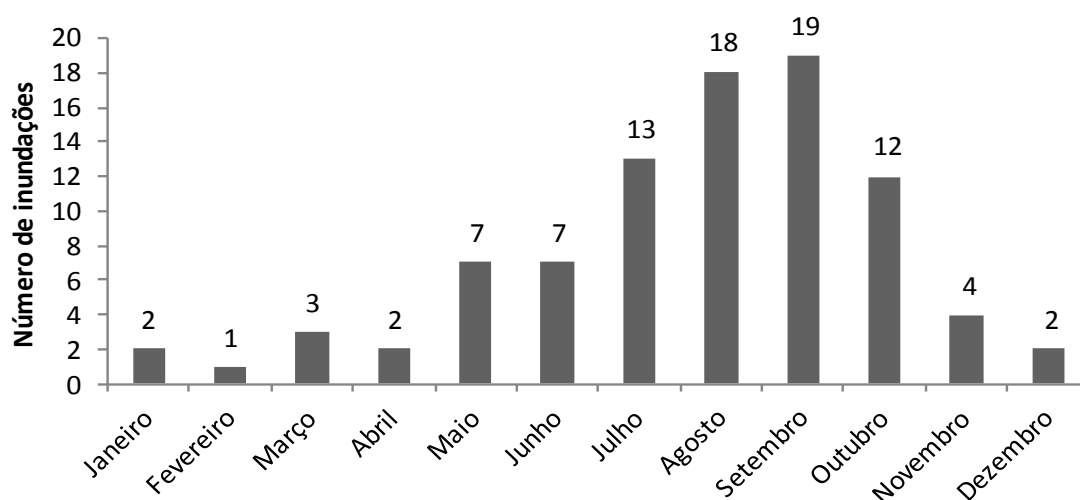
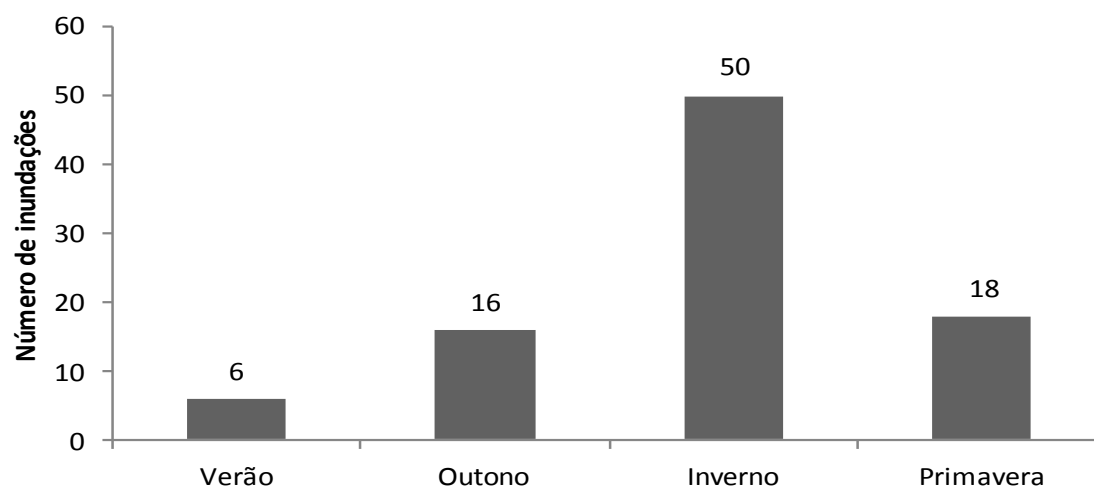
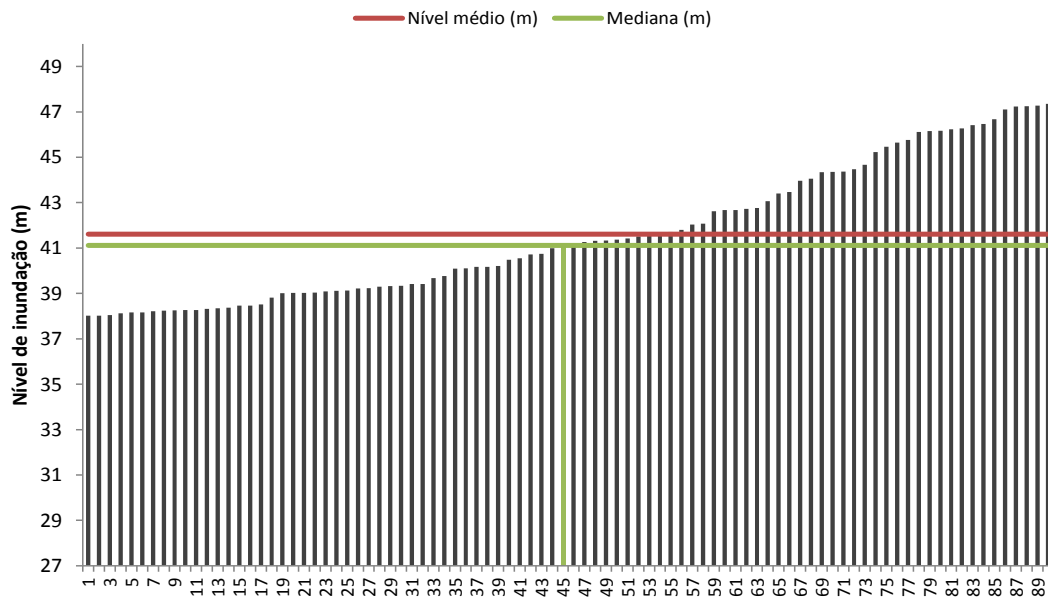


Gráfico 5 – Distribuição do número de inundações por estações do ano no município de Encantado



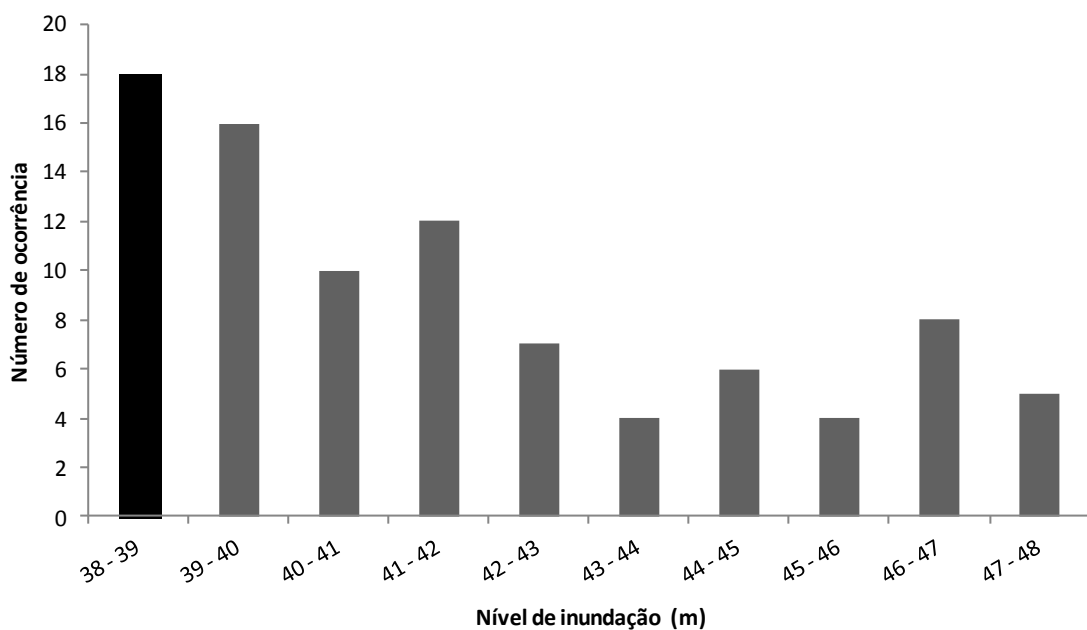
Os resultados mostram que houve a ocorrência de inundações em todos os meses e estações do ano. Em relação à análise mensal, as inundações ocorreram com maior frequência entre os meses de julho a outubro, sendo que no mês de setembro ocorreu a maior quantidade de inundações no município (19 eventos). Considerando as estações do ano, as inundações ocorreram com maior frequência no inverno, totalizando 50 eventos (55,55%), seguido da primavera com 18 eventos (20%). Realizou-se, também, um tratamento estatístico na série histórica para obter a média aritmética, mediana (GRÁFICO 6) e a moda dos níveis ocorridos (GRÁFICO 7).

Gráfico 6 – Análise da média aritmética e mediana da série histórica das inundações do município de Encantado



O nível médio das inundações ocorridas nos últimos 72 anos em Encantado foi de 41,61 m. A mediana foi igual a 41,12 m, isto significa que as inundações atingiram níveis iguais ou superiores a este em 50% das ocorrências (45 eventos) e níveis inferiores nas outras 50%, conforme destacado no gráfico acima. Estas medidas de tendência central foram obtidas considerando os dados brutos.

Gráfico 7 – Análise da moda da série histórica das inundações do município de Encantado



Para o cálculo da moda optou-se pela análise dos níveis das inundações agrupados em intervalos de 1 m. A moda refere-se ao valor, ou valores, que apresentaram maior frequência durante um período de observação. Sendo assim, a moda da série em questão encontra-se no intervalo entre os níveis de inundação de 38 a 39 m, onde se teve o registro de 18 eventos de inundações no referido município.

### 5.1.1 Cálculo da probabilidade de ocorrência e do tempo de retorno

A probabilidade de ocorrência e o TR dos diferentes níveis de inundação do município de Encantado foram calculados com base na série histórica de inundações dos últimos 72 anos, utilizando as equações apresentadas no capítulo da metodologia para os níveis de inundação do município a cada 10 cm (APÊNDICE A). A Tabela 6 apresenta o TR calculado para os níveis de inundação a cada 50 cm.

Tabela 6 – Tempo de retorno calculado para os níveis de inundação, a cada 50 cm, do município de Encantado, considerando os últimos 72 anos.

Nível de inundação (m)	Nº de ocorrência	Nº anos (N)	F	P (%)	TR (anos)
<b>38,00</b>	90	72	1,25	125,00	<b>0,80</b>
<b>38,50</b>	74	72	1,03	102,78	<b>0,97</b>
<b>39,00</b>	72	72	1,00	100,00	<b>1,00</b>
<b>39,50</b>	58	72	0,81	80,56	<b>1,24</b>
<b>40,00</b>	56	72	0,78	77,78	<b>1,29</b>
<b>40,50</b>	50	72	0,69	69,44	<b>1,44</b>
<b>41,00</b>	46	72	0,64	63,89	<b>1,57</b>
<b>41,50</b>	39	72	0,54	54,17	<b>1,85</b>
<b>42,00</b>	34	72	0,47	47,22	<b>2,12</b>
<b>42,50</b>	32	72	0,44	44,44	<b>2,25</b>
<b>43,00</b>	27	72	0,38	37,50	<b>2,67</b>
<b>43,50</b>	24	72	0,33	33,33	<b>3,00</b>
<b>44,00</b>	23	72	0,32	31,94	<b>3,13</b>
<b>44,50</b>	18	72	0,25	25,00	<b>4,00</b>
<b>45,00</b>	17	72	0,24	23,61	<b>4,24</b>
<b>45,50</b>	15	72	0,21	20,83	<b>4,80</b>
<b>46,00</b>	13	72	0,18	18,06	<b>5,54</b>
<b>46,50</b>	6	72	0,08	8,33	<b>12,00</b>
<b>47,00</b>	5	72	0,07	6,94	<b>14,40</b>

Observa-se que as inundações que atingem o nível de 39 m no município apresentam TR igual a 1 ano. Aquelas que alcançam o nível de 42 m apresentam TR inferior a 2 anos. Acima do nível de 46,5 m as inundações apresentam TR superior a 10 anos, diminuindo a probabilidade de ocorrência em um ano. O ajuste do nível de inundação com o TR calculado permitiu realizar a extrapolação do TR para os níveis acima daqueles registrados na série histórica, ainda não ocorridos no município (TABELA 7).

Tabela 7 – Tempo de retorno calculado e/ou modelado para os níveis de inundação do município de Encantado.

Nível de inundação (m)	P (%)	TR (anos)
38	125	0,8
39	100	1
40	77,78	1,29
41	63,89	1,57
42	47,22	2,12
43	37,5	2,67
44	31,94	3,13
45	23,61	4,24
46	18,06	5,54
47	6,94	14,4
48	2,53*	39,5*
49	1,33*	75,22*
50	0,71*	139,54*
51	0,39*	252,55*

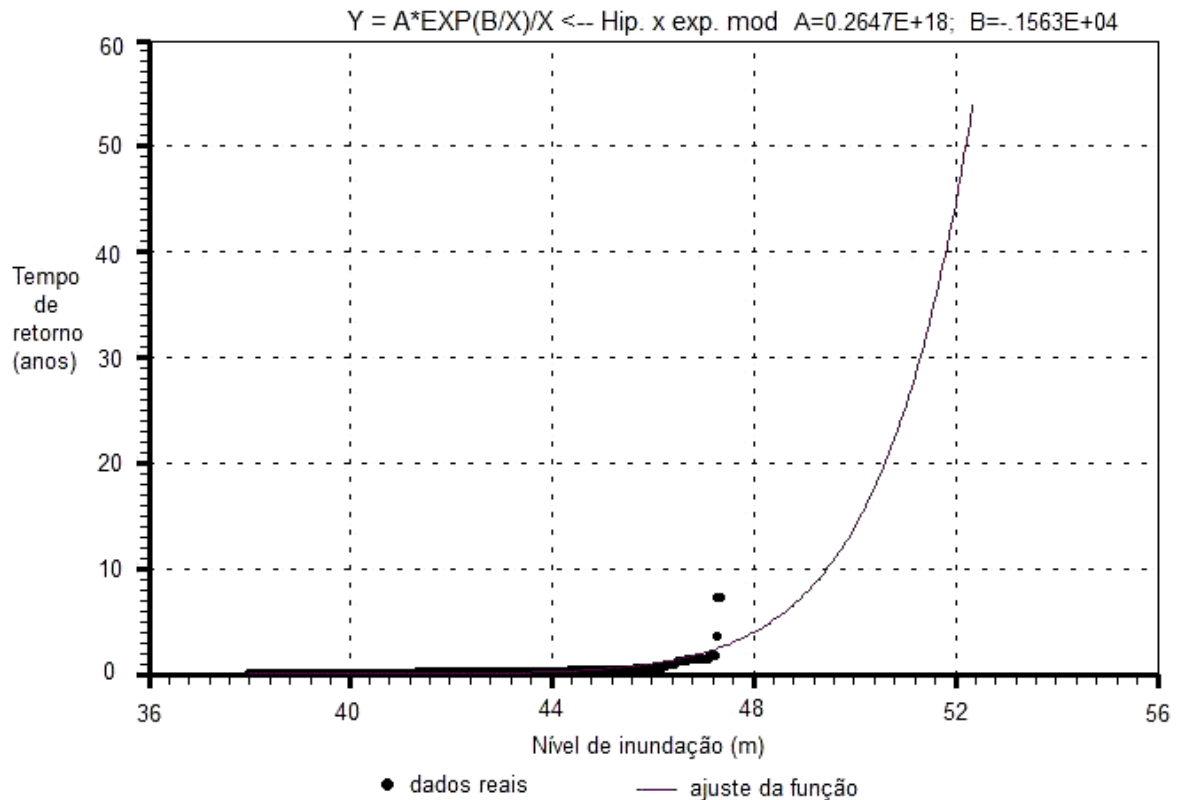
\* dados extrapolados por modelagem matemática

Conforme apresentado na tabela acima, as inundações que atingem níveis acima de 48 m apresentam pequena probabilidade de ocorrência em um ano (~2,5%), portanto possuem pequena frequência e TR muito elevado. O TR das inundações com nível acima de 50 m ultrapassa os 100 anos, chegando aos 252,55 anos para o nível de 51 m. Estes resultados evidenciam que os eventos deste porte são extremamente raros e justifica o fato de não existirem na série histórica dos últimos 72 anos, porém nada impede que possam ocorrer.

Através do *software* LAB Fit, conforme descrito na metodologia, tendo como base o TR calculado para intervalos de níveis de 1 cm, para o município de Encantado a função que apresentou melhor ajuste para a extrapolação foi a hipérbole exponencial modificada:  $y =$

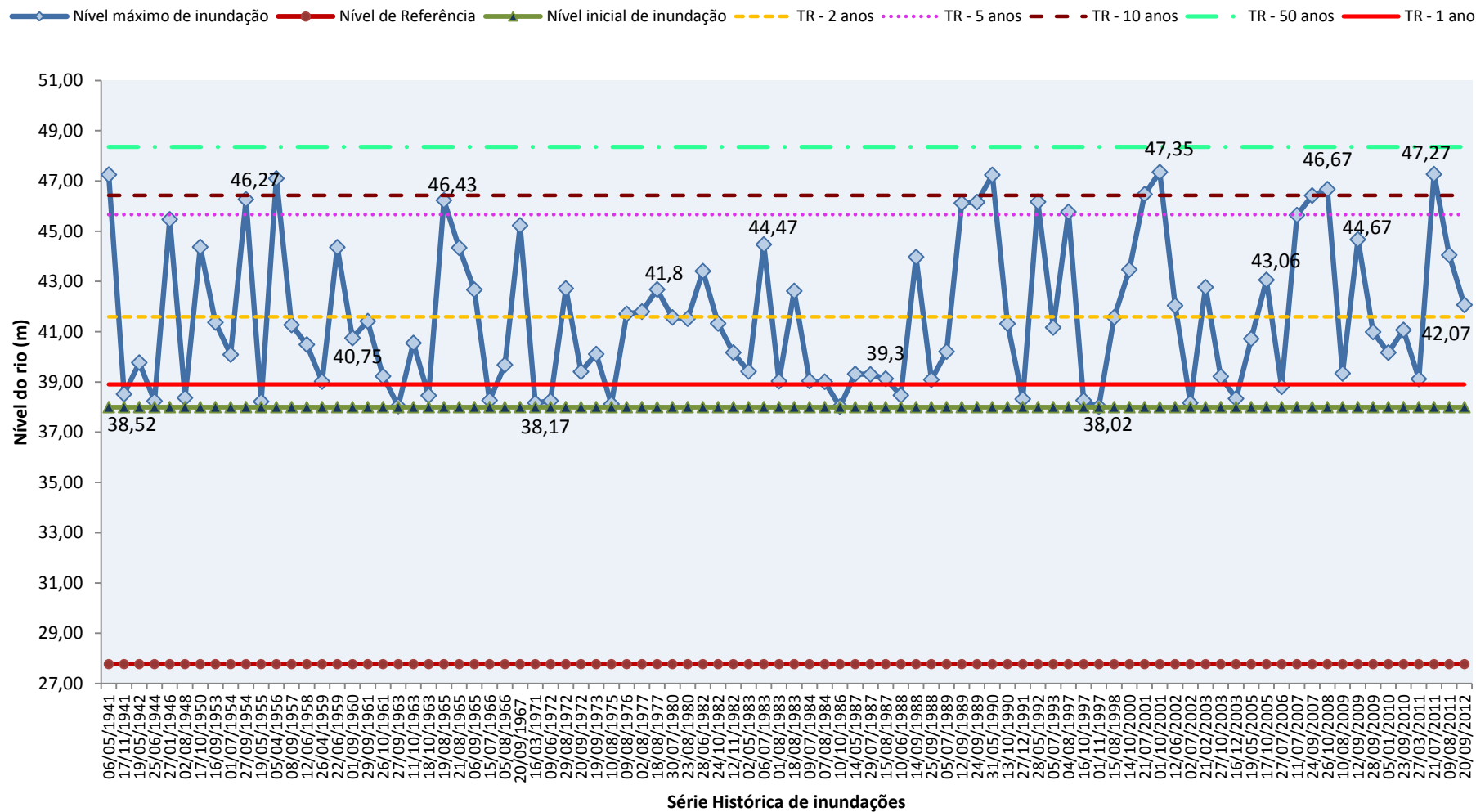
$0,264699190696E^{+18}$ \* e  $(-0,1563351046769E^{+4} / x) / x$ , sendo x o nível de inundação (m) e y o TR (anos). A função apresentou coeficiente de Pearson (R) igual a 0,76 e coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) igual a 0,60. Esta função segue a tendência de continuidade dos valores de TR calculados através da série histórica (GRÁFICO 8).

Gráfico 8 – Ajuste da modelagem matemática para extrapolação do tempo de retorno (y) para o município de Encantado em função do nível (x)



O Gráfico 9 apresenta a série histórica dos níveis máximos das inundações do município de Encantado ajustada com o TR de 1, 2, 5, 10 e 50 anos calculados e modelados neste estudo. Observando o referido gráfico, nota-se que a maior parte das inundações ocorridas no município, nos últimos 72 anos (~84 %) apresentou TR inferior a 5 anos, o que permite considerar que as infraestruturas localizadas abaixo da cota topográfica de 45 m possuem alto risco de sofrerem impactos decorrentes das inundações.

Gráfico 9 - Série histórica de inundações acoplada ao tempo de retorno calculado para o município de Encantado entre os anos de 1941 e 2012



Tendo em vista que os eventos de inundação estão ocorrendo com maior frequência nos últimos 30 anos, em função da análise já apresentada, calculou-se o TR com base, apenas, nos registros deste período mais recente. Utilizou-se a mesma metodologia, atribuindo o intervalo de 10 cm entre os níveis de inundação (APÊNDICE B). A Tabela 8 compara o TR de cada nível de inundação, com amplitude de 1 m, obtido para todo o período de análise e somente os últimos 30 anos.

Tabela 8 – Comparação do tempo de retorno dos níveis de inundação do período total e dos últimos 30 anos, do município de Encantado

Nível de inundação (m)	Período de análise: 72 anos		Período de análise: 30 anos		Variação absoluta TR (anos)
	P (%)	TR (anos)	P (%)	TR (anos)	
38,00	125	<b>0,80</b>	160,00	<b>0,63</b>	- <b>0,17</b>
39,00	100	<b>1,00</b>	133,33	<b>0,75</b>	- <b>0,25</b>
40,00	77,78	<b>1,29</b>	96,67	<b>1,03</b>	- <b>0,26</b>
41,00	63,89	<b>1,57</b>	83,33	<b>1,20</b>	- <b>0,37</b>
42,00	47,22	<b>2,12</b>	70,00	<b>1,43</b>	- <b>0,69</b>
43,00	37,5	<b>2,67</b>	56,67	<b>1,76</b>	- <b>0,91</b>
44,00	31,94	<b>3,13</b>	46,67	<b>2,14</b>	- <b>0,99</b>
45,00	23,61	<b>4,24</b>	36,67	<b>2,73</b>	- <b>1,51</b>
46,00	18,06	<b>5,54</b>	30,00	<b>3,33</b>	- <b>2,21</b>
47,00	6,94	<b>14,4</b>	10,00	<b>10,00</b>	- <b>4,40</b>

Estes resultados permitem identificar a diminuição do TR em todos os níveis de inundação até o nível de 47 m, evidenciando o aumento da frequência das inundações nos últimos 30 anos. Os eventos que atingem níveis abaixo de 44 m apresentam TR inferior a 2 anos, o que representa uma redução do TR aproximada de 1 ano com relação aos resultados obtidos para série completa. Considerando a probabilidade de ocorrência em um ano, todos os níveis inferiores a 43 m possuem probabilidade superior a 50%, sendo que os níveis abaixo de 40 m possuem probabilidade superior a 95%.

Através do conhecimento do TR dos diferentes níveis de inundação do município é possível verificar a relação entre o nível máximo das inundações ocorridas nos últimos 30 anos e o TR calculado e/ou modelado com base no período total (TABELA 9).

Tabela 9 – Relação entre os níveis das inundações dos últimos 30 anos e o tempo de retorno calculado e/ou modelado para o município de Encantado

TR (anos)	Nível (m)	Data	TR (anos)	Nível (m)	Data
24,76	47,35	01/10/2001	1,57	41,07	23/09/2010
18,00	47,24	31/05/1990	1,47	40,72	19/05/2005
18,00	47,27	21/07/2011	1,31	40,17	05/01/2010
12,00	46,67	26/10/2008	1,29	40,21	05/07/1989
9,00	46,47	21/07/2001	1,20	39,42	02/05/1983
9,00	46,42	24/09/2007	1,14	39,32	14/05/1987
5,54	46,12	12/09/1989	1,14	39,3	29/07/1987
5,54	46,16	24/09/1989	1,14	39,34	10/08/2009
5,54	46,17	28/05/1992	1,11	39,22	27/10/2003
5,14	45,77	04/08/1997	1,07	39,13	15/08/1987
4,80	45,64	11/07/2007	1,07	39,12	27/03/2011
4,00	44,67	12/09/2009	1,00	39,03	01/08/1983
4,00	44,05	09/08/2011	1,00	39,04	09/07/1984
3,79	44,47	06/07/1983	1,00	39,01	07/08/1984
3,00	43,97	14/09/1988	1,00	39,09	25/09/1988
2,77	43,47	14/10/2000	0,99	38,81	27/07/2006
2,67	43,06	17/10/2005	0,95	38,47	10/06/1988
2,48	42,77	21/02/2003	0,91	38,32	27/12/1991
2,25	42,62	18/08/1983	0,91	38,34	16/12/2003
2,12	42,04	12/06/2002	0,86	38,27	16/10/1997
1,85	41,57	15/08/1998	0,83	38,17	02/07/2002
1,67	41,32	13/10/1990	0,80	38,02	10/10/1986
1,60	41,17	05/07/1993	0,80	38,02	01/11/1997
1,57	40,99	28/09/2009	2,12	42,07	20/09/2012

Durante os últimos 30 anos, a maior parte das inundações, cerca de 58%, apresentaram TR inferior a 2 anos, ou seja, atingiram níveis menos elevados, e em torno de 29% dos eventos apresentaram TR entre 2 e 6 anos. Também houve a ocorrência de inundações com TR elevado neste período. Constatou-se que 6 eventos apresentaram TR superior a 9 anos, o que representa apenas 12,5% do total registrado. Esta relação permite compreender que as

inundações de magnitude reduzida e média estão ocorrendo em maior quantidade nos últimos anos, embora haja registros de níveis mais elevados.

A partir das análises realizadas para o município de Encantado realizou-se análise similar para as inundações ocorridas em Estrela, conforme apresentado no capítulo subsequente.

## **5.2 Análise da série histórica de inundações do município de Estrela**

A série histórica dos níveis máximos das inundações ocorridas no município de Estrela, entre os anos de 1940 e 2012, teve como base os registros cedidos pelo CIH da Univates, o levantamento apresentado no estudo de Eckhardt (2008) e os registros do Porto Fluvial de Estrela. Até o ano de 1976, os dados são históricos. Após 1976, quando iniciaram as atividades do Porto Fluvial de Estrela, são referentes a leituras efetuadas manualmente na régua linimétrica instalada no porto em questão. Os registros, como em Encantado, possuem variação quanto à frequência das leituras efetuadas, existindo períodos com apenas uma leitura diária, outros com quatro leituras diárias e eventos isolados de inundações com leituras horárias.

O Gráfico 10 apresenta a série histórica dos níveis máximos atingidos pelas inundações no referido município. Durante os últimos 73 anos, o maior nível atingido pelo Rio Taquari no município foi 29,92 m, ocorrido no dia 6 de maio de 1941. A maioria dos eventos atingiu níveis entre os 19 e 26 m (cerca de 80 %) e os níveis apresentaram amplitude de 10,47 m. Neste período, houve a proporção de 1 inundações a cada 1 ano e 1,2 meses, o que também evidencia alta frequência de ocorrência do fenômeno no município.

Os registros dos últimos 30 anos indicam que houve a proporção de 1 inundações a cada 8 meses, sendo o maior nível registrado com 26,95 m, no dia 03 de outubro de 2001. Em relação à magnitude das inundações, classificaram-se os eventos ocorridos durante todo o período e últimos 30 anos (TABELA 10).

Gráfico 10 – Série histórica dos níveis máximos das inundações do município de Estrela entre os anos de 1940 e 2012

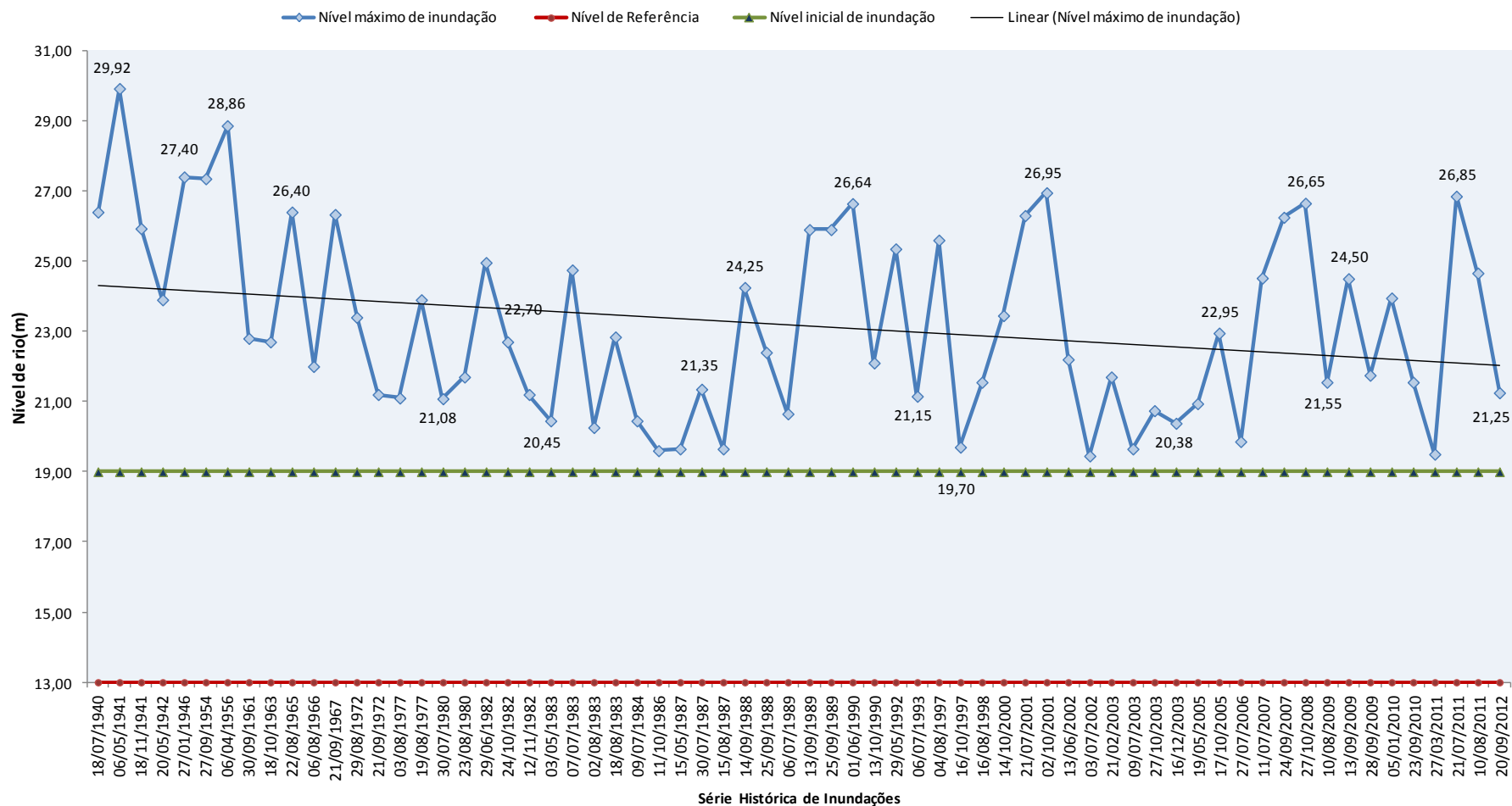


Tabela 10 – Classificação das inundações ocorridas em Estrela quanto à magnitude

Magnitude	Período de análise: 73 anos		Período de análise: 30 anos		Variação (%)
	Nº de ocorrência	%	Nº de ocorrência	%	
Reduzida (19-22m)	29	43,93	23	51,11	+16,34
Média (22,01-25m)	19	28,80	12	26,67	-7,40
Grande (25,01-28m)	16	24,24	10	22,22	-8,34
Extrema (>28,01m)	2	3,03	0	0,00	-100
Total	66	100,00	45	100,00	-

Considerando a série completa, verificou-se que as inundações de magnitude reduzida ocorreram em maior número (43,93%), seguidas das com magnitude média e grande (28,80% e 24,24%, respectivamente). Ocorreram apenas 2 inundações que atingiram a magnitude extrema, representando 3,03% do total, o que evidencia que estes são eventos esporádicos.

Restringindo a análise para os últimos 30 anos, observou-se o registro de 45 eventos de inundações. Deste total, a maior parte, também atingiu magnitude reduzida, representando 51,11%, seguindo na mesma linha da série completa. A comparação da ocorrência das inundações quanto à magnitude nos dois períodos analisados, mostra que apenas ocorreu acréscimo das inundações de magnitude reduzida nos últimos 30 anos (+16,34%). As demais magnitudes apresentaram variações negativas, sendo que não foram registradas inundações de magnitude extremas.

Estas observações permitem identificar o aumento da frequência das inundações no município de Estrela. No entanto, com base na análise da magnitude, percebe-se que as inundações estão atingindo magnitudes (ou seja, níveis) menores nos últimos 30 anos, como se pode verificar, também, na linha de tendência traçada no Gráfico 10. Ainda, com base na série histórica das inundações do município, pode-se verificar o número de ocorrência de inundações, em função dos meses e das estações do ano (GRÁFICOS 11 e 12).

Gráfico 11 – Distribuição do número de inundações por mês no município de Estrela

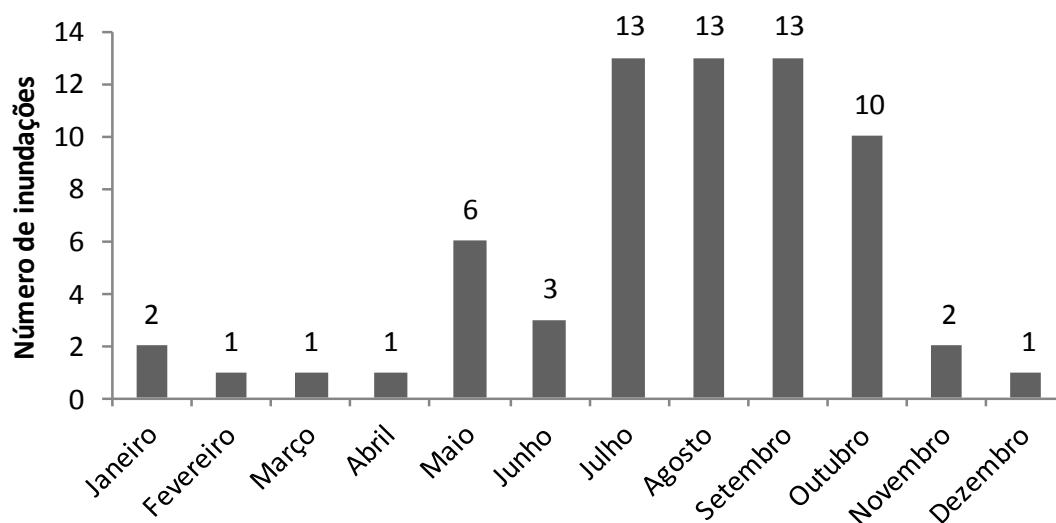
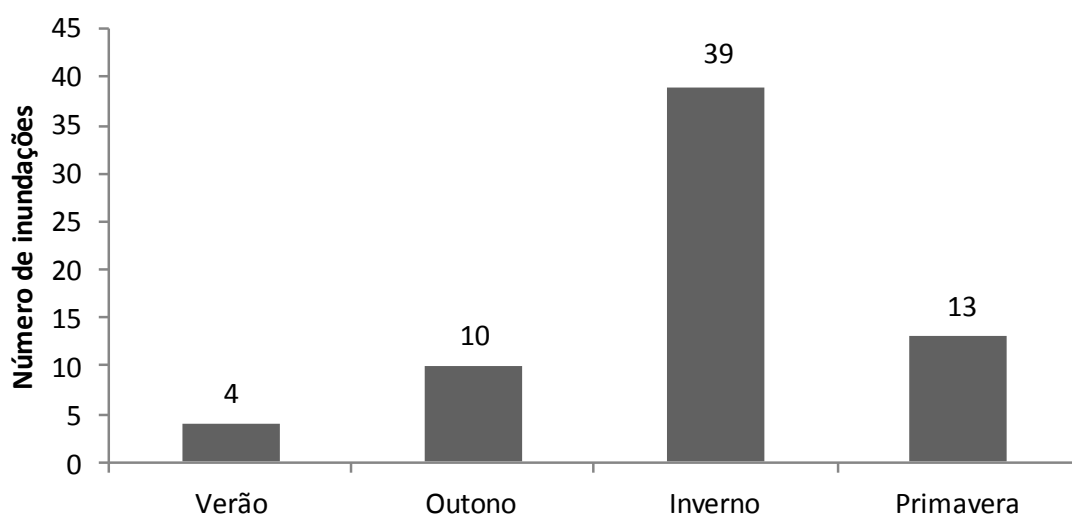
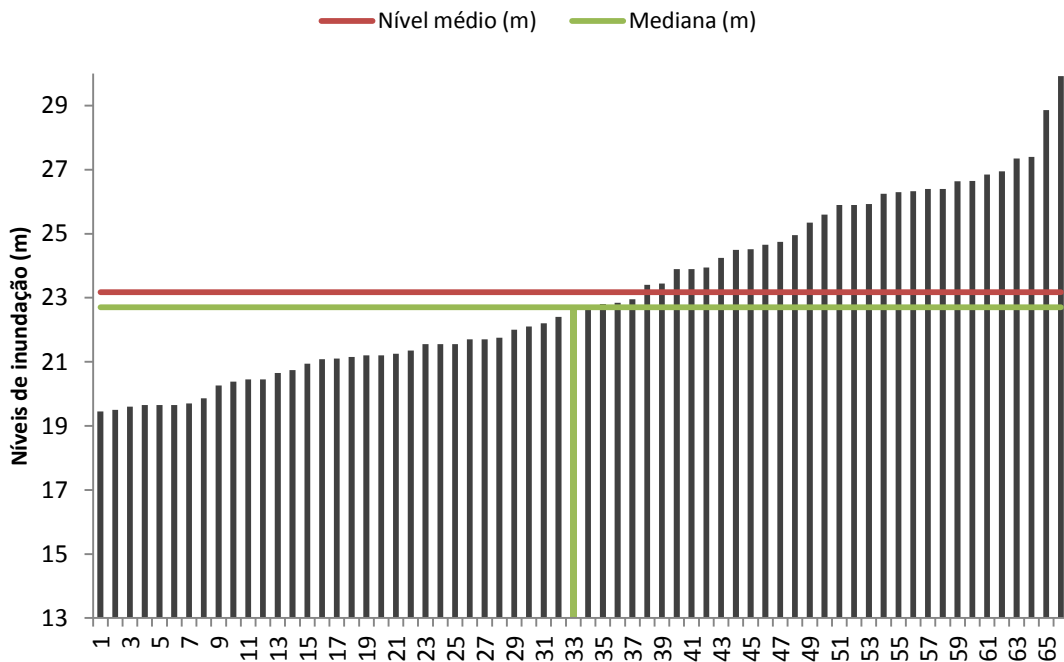


Gráfico 12 - Distribuição do número de inundações por estação do ano no município de Estrela



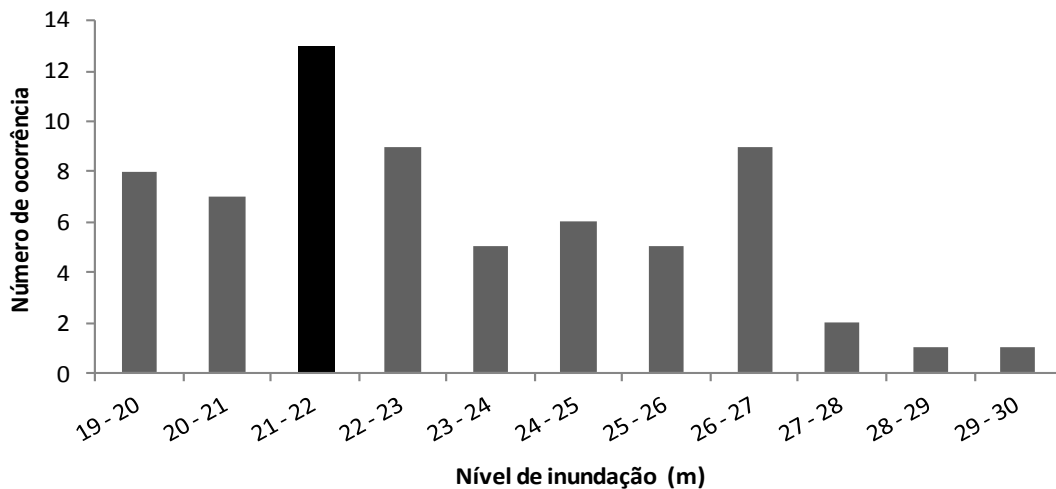
Em relação à distribuição das inundações pelos meses do ano, percebeu-se que entre os meses de julho e outubro ocorreram com maior frequência no município de Estrela (43,33%), atingindo o pico nos meses de julho, agosto e setembro, como registro de 13 inundações em cada mês. Em relação às estações do ano, percebeu-se que no inverno ocorreu ampla maioria das inundações, totalizando 39 eventos (43,33%), seguido da primavera com 13 eventos (14,44%). Através do tratamento estatístico sobre os dados brutos verificou-se a média aritmética dos níveis das inundações ocorridas e a moda (GRÁFICO 13).

Gráfico 13 – Análise da média aritmética e mediana da série histórica das inundações do município de Estrela



O nível médio de inundação ocorrido no município de Estrela, considerando todo o período analisado, foi de 23,17 m e a mediana igual a 22,70 m. A mediana significa que 50% dos níveis de inundações ocorridos (33 eventos) atingiram valores inferiores a 22,70 m e os outros 50% valores superiores e/ou igual a este. Além disso, estatisticamente, também, verificou-se a moda da série histórica, conforme apresentado no Gráfico 14.

Gráfico 14 – Análise da moda da série histórica das inundações do município de Estrela



A moda refere-se aos níveis que apresentam maior frequência de ocorrência dentro da série histórica. Para esta análise, em função dos valores apresentarem pequenas variações,

optou-se por agrupar os níveis de inundação em intervalos com amplitude de um metro. Desta forma, a moda da série em questão está no intervalo dos níveis de 21 a 22 m, no qual o número de ocorrência foi igual a 13 inundações.

### 5.2.1 Cálculo da probabilidade de ocorrência e do tempo de retorno

Através da série histórica das inundações ocorridas no município de Estrela, nos últimos 73 anos, calculou-se a probabilidade de ocorrência e TR dos níveis de inundação, a cada 10 cm (APÊNCICE C), utilizando a mesma metodologia do município de Encantado. A Tabela 11 apresenta o TR obtido para os níveis de inundação a cada 50 cm.

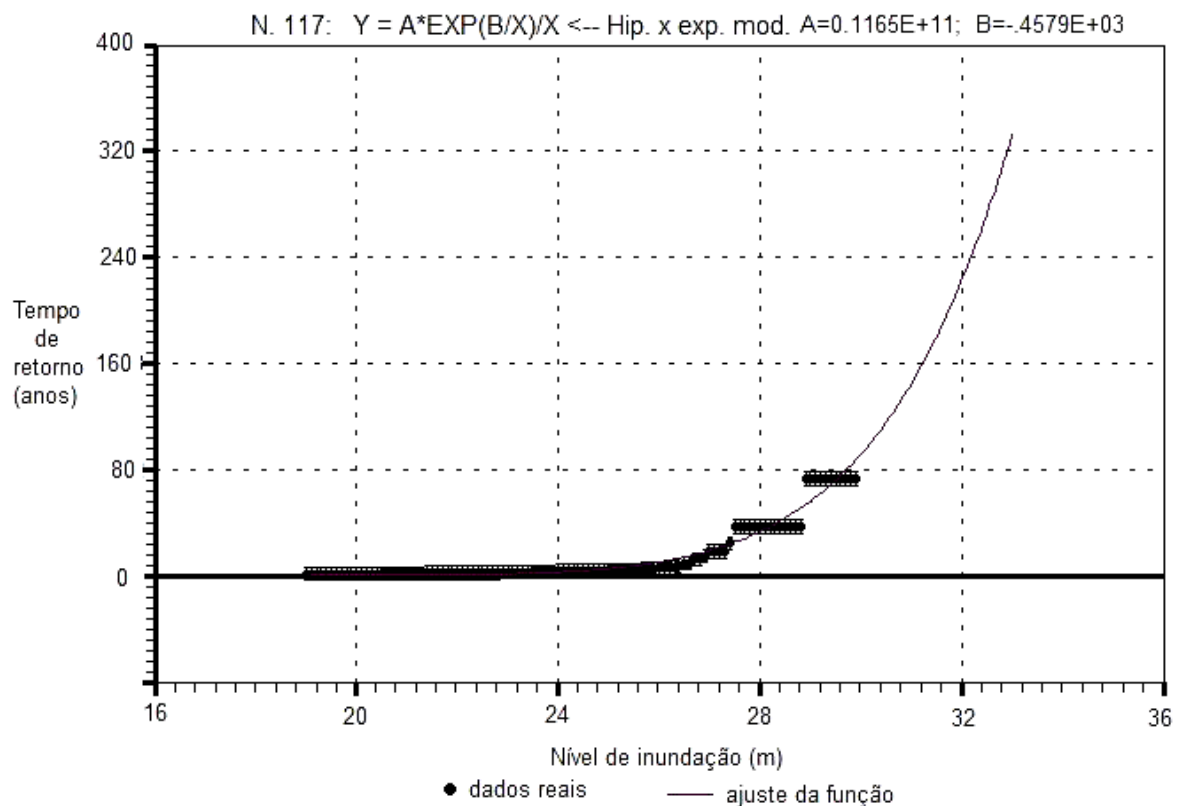
Tabela 11– Tempo de retorno calculado para os níveis de inundação, a cada 50 cm, do município de Estrela, considerando os últimos 73 anos

<b>Nível de inundação (m)</b>	<b>Nº de ocorrência</b>	<b>Nº anos (N)</b>	<b>F</b>	<b>P (%)</b>	<b>TR (anos)</b>
<b>19,0</b>	66	73	0,90	90,41	<b>1,11</b>
<b>19,5</b>	65	73	0,89	89,04	<b>1,12</b>
<b>20,0</b>	58	73	0,79	79,45	<b>1,26</b>
<b>20,5</b>	54	73	0,74	73,97	<b>1,35</b>
<b>21,0</b>	51	73	0,70	69,86	<b>1,43</b>
<b>21,5</b>	44	73	0,60	60,27	<b>1,66</b>
<b>22,0</b>	38	73	0,52	52,05	<b>1,92</b>
<b>22,5</b>	34	73	0,47	46,58	<b>2,15</b>
<b>23,0</b>	29	73	0,40	39,73	<b>2,52</b>
<b>23,5</b>	27	73	0,37	36,99	<b>2,70</b>
<b>24,0</b>	24	73	0,33	32,88	<b>3,04</b>
<b>24,5</b>	23	73	0,32	31,51	<b>3,17</b>
<b>25,0</b>	18	73	0,25	24,66	<b>4,06</b>
<b>25,5</b>	17	73	0,23	23,29	<b>4,29</b>
<b>26,0</b>	13	73	0,18	17,81	<b>5,62</b>
<b>26,5</b>	8	73	0,11	10,96	<b>9,13</b>
<b>27,0</b>	4	73	0,05	5,48	<b>18,25</b>
<b>27,5</b>	2	73	0,03	2,74	<b>36,50</b>
<b>28,0</b>	2	73	0,03	2,74	<b>36,50</b>
<b>28,5</b>	2	73	0,03	2,74	<b>36,50</b>
<b>29,0</b>	1	73	0,01	1,37	<b>73,00</b>
<b>29,5</b>	1	73	0,01	1,37	<b>73,00</b>

Conforme a tabela acima, a partir do nível de inundação de 27,5 m, os valores do TR sofrem pouca variação devido a baixa ocorrência de inundações acima deste nível. Este aspecto justifica a definição e a utilização de uma função matemática que permita a modelagem contínua do TR para níveis acima dos registrados na série histórica, ou seja, realizar a extrapolação do TR.

Para a definição da melhor função matemática que modele a extrapolação dos dados, utilizou-se o mesmo procedimento desenvolvido para Encantado, mediante o uso do *software* LAB Fit. Com base no TR calculado para cada 10 cm de variação no nível de inundação, a função que apresentou o melhor ajuste foi a hipérbole exponencial modificada:  $y = 0,1164929931955E^{+11} * e^{(-0,4579058350103E^{+3} / x) / x}$ , sendo x o nível de inundação (m) e y o TR (anos). A função apresentou coeficiente de Pearson (R) igual a 0,97 e coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) igual a 0,95. Esta função segue a tendência de continuidade dos valores de TR calculados através da série histórica dos níveis das inundações de Estrela (GRÁFICO 15).

Gráfico 15 - Ajuste da modelagem matemática para extrapolação do tempo de retorno (y) para o município de Estrela em função do nível (x)



Ponderando as considerações e a função apresentada acima, a partir do nível de inundação de 28 m utilizou-se o TR obtido pela modelagem matemática. Desta forma, a Tabela 12 apresenta o TR para todos os níveis de inundação no município de Estrela extrapolados até o nível de 32 m, com amplitude de 1 m.

Tabela 12 – Tempo de retorno calculado e/ou modelado para os níveis de inundação do município de Estrela

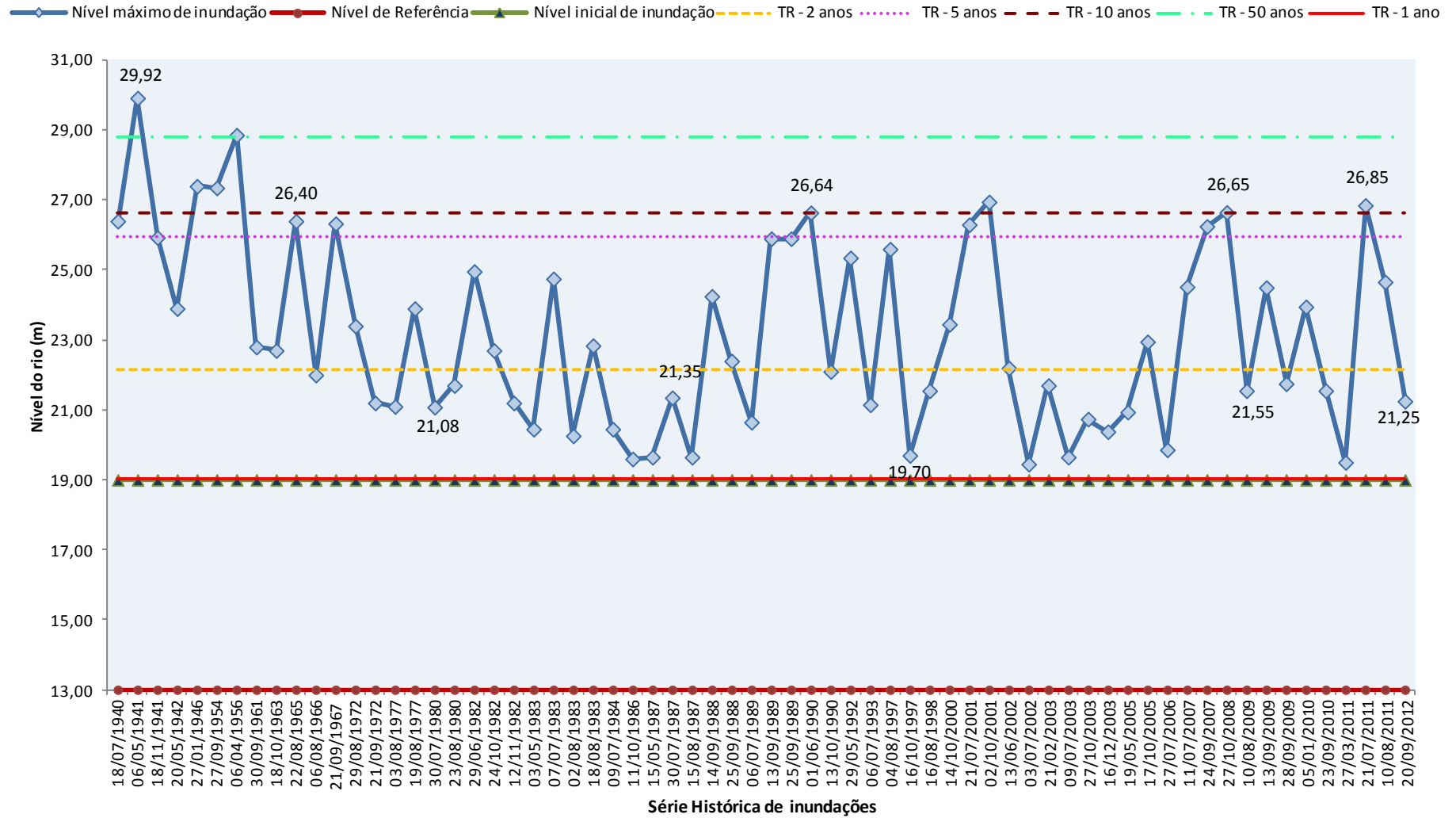
Nível de inundação (m)	P (%)	TR (anos)	Nível de inundação (m)	P (%)	TR (anos)
19	90,41	1,11	26	17,81	5,62
20	79,45	1,26	27	5,48	18,25
21	69,86	1,43	28	3,04*	32,87*
22	52,05	1,92	29	1,79*	55,78*
23	39,73	2,52	30	1,09*	91,27*
24	32,88	3,04	31	0,69*	144,51*
25	24,66	4,06	32	0,45*	222,12*

\* dados extrapolados por modelagem matemática

Analisando as Tabelas 11 e 12, constatou-se que as inundações de magnitude reduzida (19 m a 22 m) apresentam TR inferior a 2 anos, ou seja, o município é afetado por inundações, em média, a cada 1,11 anos. A partir do nível de 27 m o TR é superior a 18 anos, o que evidencia a redução do risco das áreas e das infraestruturas localizadas acima desta cota topográfica serem atingidas por este fenômeno. Os níveis acima de 29 m possuem elevado TR, superior a 55 anos, sendo sua probabilidade de ocorrência inferior a 1,8% por ano.

Através do Gráfico 16, que apresenta todos os níveis das inundações ocorridas em Estrela nos últimos 73 anos acoplados ao TR de 1, 2, 5, 10 e 50 anos, observa-se que a maioria das inundações (~80%) ocorridas no município apresentaram TR inferior a 5 anos, indicando que as infraestruturas existentes abaixo da cota topográfica de 26 m estão sujeitas com frequência aos danos e impactos deste fenômeno. Apenas duas inundações que ocorreram no período possuem TR acima de 50 anos, o que enfatiza que são eventos com pequena frequência.

Gráfico 16 – Série histórica de inundações acoplada ao tempo de retorno calculado para o município de Estrela entre os anos de 1940 e 2012



Estudos referentes ao TR dos níveis de inundação do município de Estrela já haviam sido realizados por Rezende e Tucci (1979, apud FLINTSCH, 2002), com base em dados até o ano de 1979, o que permitiu realizar uma comparação do TR calculado e/ou modelado neste estudo com o TR calculado pelos autores (TABELA 13), a fim de verificar possíveis alterações no comportamento do TR dos níveis de inundação no referido município.

Tabela 13 – Comparação do tempo de retorno calculado e/ou modelado neste estudo e apresentado por Rezende e Tucci (1979) para os níveis de inundação de Estrela

Nível de inundação (m)	Resultados 1940 - 2012		Resultados até 1979	
	P (%)	TR (anos)	P (%)	TR (anos)
19	90,41	1,11	-	-
20	79,45	1,26	49	2,04
21	69,86	1,43	41	2,44
22	52,05	1,92	33	3,03
23	39,73	2,52	25	4
24	32,88	3,04	20	5
25	24,66	4,06	15	6,66
26	17,81	5,62	10	10
27	5,48	18,25	7,7	13
28	3,04*	32,87*	5,3	19
29	1,79*	55,78*	3,7	27
30	1,09*	91,27*	2,5	40
31	0,69*	144,51*	1,6	63
32	0,45*	222,12*	1,00	100

\* dados extrapolados por modelagem matemática

A comparação entre o TR calculado neste estudo e existente deixa evidente que ocorreu uma redução do TR para os níveis de inundação do município de Estrela inferiores a 26 m, o que representa mais de 50% do total dos níveis. Desta forma, a probabilidade de ocorrência de inundações reduzidas (19 a 22 m) por ano teve aumento significativo, reduzindo, de forma consecutiva, o TR desses eventos de inundações. De acordo com este estudo, a probabilidade das inundações reduzidas variou de 90% à 52%, quando, com base nos dados existentes, era de 49% a 33%. Para o nível de 26 m a probabilidade de ocorrência aumentou de 10% para cerca de 17% por ano. Isto permite identificar que os eventos de inundações que atingem níveis até por volta dos 26 m estão mais frequentes do que no período em que o TR foi calculado por Rezende e Tucci.

Considerando os níveis de inundação acima de 27 m, estes apresentaram aumento do TR, ou seja, estão ocorrendo com menor frequência. Com base nos dados existentes o TR era de 100 anos para o nível de 32 m. Porém, conforme a modelagem matemática realizada neste estudo, para o nível de 32 m, o TR aumentou para 222,12 anos. Esta análise enfatiza a redução da frequência de ocorrência dos níveis de inundação acima de 27 m no município.

Em virtude da análise dos eventos de inundações nos últimos 30 anos indicarem aumento na frequência o TR também foi calculado com base, apenas, nos registros de inundações deste período. Para tal cálculo, adotou-se o mesmo procedimento, atribuindo o intervalo de 10 cm entre os níveis de inundação (APÊNDICE D). No entanto, não foi realizada a extrapolação do TR para os níveis não ocorridos no período, uma vez que se pretendeu observar, apenas, a tendência de alteração dos padrões do TR no período mais recente. A Tabela 14 apresenta a comparação entre os resultados obtidos para os TR com base no período total e nos últimos 30 anos.

Tabela 14 – Comparação do tempo de retorno dos níveis de inundação do período total e dos últimos 30 anos, do município de Estrela.

Nível de inundação (m)	Período de análise: 73 anos		Período de análise: 30 anos		Variação absoluta TR (anos)
	P (%)	TR (anos)	P (%)	TR (anos)	
19,00	90,41	<b>1,11</b>	150,00	<b>0,67</b>	- 0,44
20,00	79,45	<b>1,26</b>	123,33	<b>0,81</b>	- 0,45
21,00	69,86	<b>1,43</b>	100,00	<b>1,00</b>	- 0,43
22,00	52,05	<b>1,92</b>	73,33	<b>1,36</b>	- 0,56
23,00	39,73	<b>2,52</b>	56,67	<b>1,76</b>	- 0,76
24,00	32,88	<b>3,04</b>	50,00	<b>2,00</b>	- 1,04
25,00	24,66	<b>4,06</b>	33,33	<b>3,00</b>	- 1,06
26,00	17,81	<b>5,62</b>	20,00	<b>5,00</b>	- 0,62
27,00	5,48	<b>18,25</b>	3,33	<b>30,00</b>	+ 11,75

A partir da tabela acima, observa-se a diminuição do TR para os níveis de inundação inferiores a 26 m, conferindo aumento do risco das infraestruturas localizadas nestas cotas topográficas serem atingidas e indicando a maior frequência de ocorrência de inundações no município. Nesta análise, as inundações reduzidas (19 a 22 m) apresentam TR é inferior a 1,36 anos, quando para os 73 anos era inferior a 2 anos; por sua vez, os níveis acima de 27 m

tornaram-se menos frequentes. Sabendo os TR dos níveis de inundação do município, pode-se verificar o TR das inundações que ocorreram nos últimos 30 anos no local (TABELA 15).

Tabela 15 – Relação entre os níveis das inundações dos últimos 30 anos e o tempo de retorno calculado e/ou modelado para o município de Estrela

TR (anos)	Nível (m)	Data	TR (anos)	Nível (m)	Data
14,60	26,95	02/10/2001	1,78	21,75	28/09/2009
12,17	26,85	21/07/2011	1,66	21,55	16/08/1998
9,13	26,64	01/06/1990	1,66	21,55	10/08/2009
9,13	26,65	27/10/2008	1,66	21,55	23/09/2010
6,08	26,30	21/07/2001	1,62	21,35	30/07/1987
5,62	26,25	24/09/2007	1,46	21,15	06/07/1993
4,56	25,90	13/09/1989	1,46	21,10	20/09/2012
4,56	25,90	25/09/1989	1,40	20,94	19/05/2005
4,29	25,60	04/08/1997	1,38	20,74	27/10/2003
4,06	25,35	29/05/1992	1,35	20,65	06/07/1989
3,65	24,75	07/07/1983	1,30	20,45	03/05/1983
3,48	24,66	10/08/2011	1,30	20,45	09/07/1984
3,17	24,52	11/07/2007	1,28	20,38	16/12/2003
3,17	24,50	13/09/2009	1,26	20,26	02/08/1983
3,04	24,25	14/09/1988	1,24	19,86	27/07/2006
2,70	23,95	05/01/2010	1,22	19,70	16/10/1997
2,52	23,45	14/10/2000	1,14	19,60	11/10/1986
2,43	22,95	17/10/2005	1,14	19,65	15/05/1987
2,28	22,84	18/08/1983	1,14	19,65	15/08/1987
2,09	22,40	25/09/1988	1,14	19,65	09/07/2003
2,03	22,20	13/06/2002	1,12	19,50	27/03/2011
1,97	22,10	13/10/1990	1,11	19,45	03/07/2002
1,78	21,70	21/02/2003			

Percebe-se que mais de 50% das inundações ocorridas nos últimos 30 anos atingiram níveis que apresentam TR inferior a 2 anos. Eventos de inundações que atingiram níveis com TR mais elevado (acima de 9 anos) também foram observados, porém em menor quantidade, ocorreram apenas 3 eventos durante o período, representando 6,67% do total. Sendo assim, percebe-se que nos últimos 30 anos foi mais frequente a ocorrência de inundações com níveis menores, ocorrendo de forma esporádica níveis mais elevados.

### 5.3 Discussão sintética dos resultados obtidos

A análise dos resultados obtidos para Estrela e Encantado revelou que ocorreu maior número de inundações entre os meses de julho e outubro nos dois municípios analisados. Desta forma, a estação do inverno apresentou maior frequência de eventos. Este fato condiz com o esperado, em função do clima que a região apresenta, onde as precipitações pluviométricas ocorrem com maior frequência e maior intensidade entre as estações do inverno e primavera. Neste período, no RS, ocorre a maior atuação de sistemas frontais e o desenvolvimento de complexos convectivos de mesoescala, que refletem no aumento das precipitações pluviométricas da região.

Em relação à análise da série histórica das inundações obtida para os dois municípios, percebeu-se o aumento da frequência dos eventos nos últimos 30 anos em ambos os locais. Porém, considerando a linha de tendência traçada nos gráficos da série de Estrela e Encantado, observa-se que o comportamento dos níveis é diferenciado. Para Estrela, observa-se uma tendência de redução dos níveis das inundações, se comparado com o início da série analisada. Em contrapartida, para Encantado, observa-se a tendência de aumento dos níveis das inundações.

O que pode influenciar esta diferença é o fato dos dados das inundações do início da série (anteriores a 1977) do município de Estrela, terem como base apenas em registros históricos, sendo, neste caso, registrados somente os níveis mais elevados e significativos atingidos pelo Rio Taquari. No município de Encantado os dados deste período já se referem a leituras efetuadas em régua linimétrica, o que permitiu a existência de mais registros de pequenas alterações do nível do rio.

A data em que ocorreu o maior nível do Rio Taquari em Estrela (06/05/1941), difere da data de ocorrência do maior nível em Encantado (01/10/2001). Um dos fatores que contribui para esta diferença é o fato dos dados do ano de 1941 serem históricos em ambos os municípios, não possibilitando a confirmação dos níveis atingidos nestes anos. Cabe ressaltar que a série histórica dos níveis máximos das inundações, baseada em registros históricos e leituras manuais, agrega incertezas sobre a magnitude destas. No entanto conforme Tucci (2012), os dados históricos devem ser incorporados à série histórica. Outro fator contribuinte é a limitação da altura máxima da régua linimétrica de Encantado, sendo assim os maiores níveis das inundações deste município são estimados, podendo ter ocorrido em data diferente.

Em relação ao cálculo do TR para os diferentes níveis de inundação dos municípios em questão, considerando a série histórica completa (72 anos para Encantado e 73 anos para Estrela) constatou-se que grande parte das inundações que ocorreram neste período, apresentaram TR inferior a 5 anos nos dois municípios (84,44% em Encantado e 80,30% em Estrela), ou seja, a maior parte dos níveis de inundação possui TR inferior a 5 anos (Encantado: 38 a 45,6 m, Estrela: 19 a 26 m). Esta análise justifica a elevada problemática da região quanto à recorrência destes eventos.

Comparando o TR obtido em cada município para cada nível de inundação (TABELA 16), observa-se que os níveis mais baixos apresentam TR menor em Encantado se comparado com Estrela, indicando que ocorrem com maior frequência no município em questão. Quanto aos níveis de inundação extremos, os dois municípios apresentam TR elevado, conferindo a baixa ocorrência.

Tabela 16 – Comparação do tempo de retorno dos níveis de inundação de Encantado e Estrela

Encantado			Estrela		
Nível (m)	P (%)	TR (anos)	Nível (m)	P (%)	TR (anos)
38,00	125,00	0,80	19,00	90,41	1,11
39,00	100,00	1,00	20,00	79,45	1,26
40,00	77,78	1,29	21,00	69,86	1,43
41,00	63,89	1,57	22,00	52,05	1,92
42,00	47,22	2,12	23,00	39,73	2,52
43,00	37,50	2,67	24,00	32,88	3,04
44,00	31,94	3,13	25,00	24,66	4,06
45,00	23,61	4,24	26,00	17,81	5,62
46,00	18,06	5,54	27,00	5,48	18,25
47,00	6,94	14,4	28,00	3,04*	32,87*
48,00	2,53*	39,5*	29,00	1,79*	55,78*
49,00	1,33*	75,22*	30,00	1,09*	91,27*
50,00	0,71*	139,54*	31,00	0,69*	144,51*
51,00	0,39*	252,55*	32,00	0,45*	222,12*

\* dados extrapolados por modelagem matemática

A comparação entre os resultados obtidos nos últimos 30 anos e na série completa, para os dois municípios, demonstrou que houve redução do TR da maior parte dos níveis de inundação, sendo que Encantado teve diminuição do TR em todos os níveis, evidenciando que está ocorrendo aumento da frequência dos eventos de inundação na região.

Em virtude da existência de outro estudo referente ao TR dos níveis de inundação no município de Estrela, publicado por Rezende e Tucci (1979 apud FLINTSCH, 2002), foi

possível realizar uma comparação dos resultados obtidos para este município. Esta análise deixa evidente que os níveis de inundação menos elevados, inferiores a 26 m, estão ocorrendo com maior frequência. Em contrapartida, os níveis mais extremos estão menos frequentes, o que confirma a análise da linha de tendência já discutida.

Malutta e Kobiyama (2011) realizaram a análise do TR das últimas inundações ocorridas na Bacia Hidrográfica do Rio Negrinho/SC, com base em dados de precipitação mensal, utilizando o método Gumbel para obtenção do TR. Constataram que a maior parte das inundações que ocorreram nos últimos 20 anos na região atingiram precipitações acumuladas mensais com alto TR, o que aponta que na região em questão, estão ocorrendo com maior frequência eventos extremos de precipitação, e conseqüentemente de inundação.

Oliveira, Saldanha e Guasselli (2010), em estudo realizado na Bacia Hidrográfica do Rio Caí/RS, também observaram um aumento na frequência de eventos extremos para os municípios de Nova Palmira e São Sebastião do Caí. Este tipo de análise também foi realizado no presente estudo, porém os resultados não convergem para as mesmas conclusões. Cabe ressaltar que o método de obtenção do TR difere em todos os estudos.

Nos municípios de Estrela e Encantado registraram-se níveis extremos de inundação com alto TR (acima de 9 anos) nos últimos 30 anos, porém em quantidade inferior a 13% do total de eventos. A maior parte dos eventos atingiram níveis com pequeno TR. Considerando as dez maiores inundações registradas durante todo o período de análise (TABELA 17), também se observa a possibilidade de diminuição da frequência de eventos extremos nas últimas décadas na região.

Tabela 17– Dez maiores inundações ocorridas em Encantado e Estrela

Encantado			Estrela		
Ordem	Data	Nível (m)	Ordem	Data	Nível (m)
1	01/10/2001	47,35	1	06/05/1941	29,92
2	21/07/2011	47,27	2	06/04/1956	28,86
3	06/05/1941	47,25	3	27/01/1946	27,40
4	31/05/1990	47,24	4	27/09/1954	27,35
5	05/04/1956	47,1	5	02/10/2001	26,95
6	26/10/2008	46,67	6	21/07/2011	26,85
7	21/07/2001	46,47	7	27/10/2008	26,65
8	24/09/2007	46,42	8	01/06/1990	26,64
9	27/09/1954	46,27	9	18/07/1940	26,40
10	19/08/1965	46,23	10	22/08/1965	26,40

Percebe-se que das cinco maiores inundações registradas nos municípios, apenas duas ocorreram após o ano 2000, em Encantado, e uma em Estrela. Porém, não se pode afirmar, com certeza absoluta, esta alteração da magnitude dos eventos, em virtude das séries de inundações apresentadas, conterem dados históricos.

O aumento da frequência dos eventos de inundações observado nos últimos anos desta análise pode estar relacionado com o crescimento populacional ocorrido nos municípios, decorrentes em grande parte da transição urbana do período, que provocou a maior ocupação de áreas de riscos e ribeirinhas nos municípios em gerais e também o aumento da impermeabilização do solo. Este fator contribui de forma significativa para o aumento da frequência das inundações, conforme discutido na revisão bibliográfica deste estudo, e pode ser estar influenciando na região de estudo, conforme, também, apontado por Ferreria e Both (2001).

Ainda, têm-se como possíveis fatores contribuintes deste cenário, as alterações climáticas observadas nos últimos períodos, o assoreamento dos rios associado ao crescimento populacional, o aterramento de áreas no interior dos municípios que possuíam função de amortecimento das águas em períodos de inundações, os quais podem contribuir para alteração do comportamento dos eventos ao longo dos anos.

## 6 CONCLUSÃO

O presente estudo conferiu a atualização da série histórica das inundações ocorridas nos municípios de Encantado e Estrela, ampliando o número de registros de eventos, principalmente de magnitude reduzida, apesar das limitações inerentes aos dados primários consultados. A série histórica das inundações foi elaborada selecionando todos os eventos independentes ocorridos ao longo do período analisado nos dois municípios, embora a maioria dos estudos relacionados ao tema considere somente o maior nível de inundação alcançado em cada ano. Este aspecto confere maior confiabilidade aos resultados desta pesquisa, pois, desta forma, não se desconsidera os prejuízos associados a ocorrência de mais de uma inundação no mesmo ano nos municípios.

A partir da análise geral dos resultados, concluiu-se que os municípios de Encantado e Estrela apresentam maior ocorrência de inundações entre os meses de julho a outubro e na estação do inverno, devido aos fatores climáticos da região. Observou-se que nos últimos 30 anos houve maior periodicidade na recorrência das inundações em comparação com toda a série histórica analisada nos dois municípios. O estudo permitiu alcançar o objetivo geral, que consistiu na atualização da probabilidade de ocorrência e do TR para os níveis de inundação do município de Estrela e no cálculo destas variáveis para o município de Encantado, que não possuía estudos sobre este tema.

A maior parte dos níveis de inundação dos municípios apresenta TR inferior a 5 anos (Encantado: 38 a 45,6 m, Estrela: 19 a 26 m), considerando o período total de análise, o que evidencia a elevada recorrência dos eventos nos dois municípios avaliados. Estes resultados justificam a problemática recorrente dos municípios quanto aos impactos negativos associados a estes fenômenos. O TR, com base na análise dos últimos 30 anos, apresentou redução para a maior parte dos níveis de inundação, aumentando a probabilidade de

ocorrência deste fenômeno em um ano nos referidos municípios e enfatizando a maior frequência dos mesmos. Com relação à magnitude, em Encantado, as inundações de magnitude grande e extrema estão apresentando maior frequência, enquanto em Estrela os eventos de magnitude reduzida ocorreram com maior frequência nos últimos 30 anos.

O aumento da recorrência das inundações pode estar associado a diversos fatores, como o aumento da impermeabilização do solo, a maior ocupação de áreas vulneráveis, as alterações climáticas nas últimas décadas, o assoreamento dos rios da região, a construção de aterros em áreas de amortecimento de inundações nos municípios. Todas estas variáveis contribuem para a alteração do comportamento deste fenômeno no decorrer do tempo.

O método utilizado para obtenção da probabilidade de ocorrência e do TR dos níveis de inundação mostrou-se eficiente para os dois municípios. A função matemática empregada para a extrapolação do TR se mostrou satisfatória, conferindo a tendência de continuidade dos valores dos TRs calculados. Esta função foi utilizada apenas para obtenção do TR dos níveis de magnitudes grande e extrema nos dois municípios. A extrapolação permite o conhecimento do TR de níveis que ainda não foram registrados, mas que podem vir a ocorrer em função de chuvas extremas, com possibilidade de afetar áreas nunca antes inundadas.

Através dos resultados do TR dos níveis de inundação obtidos neste estudo e as cotas topográficas permissíveis para construções, conforme Plano Diretor dos municípios, percebeu-se que ambos atribuem elevado risco de muitas infraestruturas serem atingidas com frequência e sofrerem danos decorrentes das inundações. O município de Encantado através do Plano Diretor (Lei nº Lei nº 1.566/91, Art. 19 § 2º) permite novas construções a partir da cota de 46 m. No município de Estrela conforme Plano Diretor (Art. 26 §3º) são permitidas novas construções nas áreas inundáveis em terrenos aterrados acima da cota topográfica de 26 m. Observa-se, com base nos resultados obtidos, que o risco destas infraestruturas serem atingidas em ambos os municípios é alto, pois em Encantado a cota de 46 m é atingida em média a cada 5,54 anos e em Estrela a cota de 26 m em média 5,62 anos.

O município de Lajeado, que faz divisa com Estrela, a poucos anos alterou em seu Plano Diretor (Lei nº 7.650/2006, Art. 135 § 1º) a cota topográfica permissível a novas construções, passou de 26 m para 27 m. Isto mostra que, através de conhecimento empírico, o município diminuiu o risco destas serem atingidas, para em média a cada 18,25 anos.

O estudo pretende contribuir para o planejamento da ocupação das áreas sujeitas às inundações da região a partir da futura disponibilização deste trabalho para as prefeituras de

Encantado, Estrela e Lajeado. As informações geradas poderão auxiliar os municípios a redefinir as cotas topográficas permissíveis a novas construções e reavaliar a manutenção de infraestruturas localizadas em pontos com alta recorrência de inundações. Este último procedimento foi realizado pelo município de Estrela. As infraestruturas e terrenos localizados em áreas de inundação foram trocados por outros de menor risco e mais valorizadas do município, o que trouxe a redução de prejuízos causados por estes eventos.

De acordo com Tucci e Bertoni (2003) a maior parte dos projetos de novas construções atribui que, em média, a cada 10 anos possam sofrer prejuízos causados pelas inundações. Porém, os autores recomendam que em caso de possível risco a vida humana deve-se buscar definir o local da construção com TR de 100 anos, ou o mais próximo possível.

Através do melhoramento da série histórica das inundações de Encantado e Estrela, o Sistema de Previsão e Alerta de Enchentes do Vale do Taquari (SPAÉ) poderá ser aperfeiçoado. Uma vez que o sistema baseia-se na modelagem cota a cota, ou seja, a modelagem do nível da inundação para Estrela em função do nível de Encantado, a maior quantidade de registros de eventos pareados poderá favorecer uma melhor calibração do modelo matemático a ser utilizado. Ao mesmo tempo, o conhecimento do TR dos diferentes níveis de inundação contribuirá para as etapas de mapeamento e zoneamento das áreas com risco de inundações.

Por fim, conclui-se que o estudo apresentou resultados satisfatórios quanto à atualização das séries históricas de inundações e o cálculo da probabilidade de ocorrência e do TR dos diferentes níveis para os dois municípios. Ressalta-se que todos os resultados dos prováveis TR são uma estimativa de valores baseada em séries de dados hidrológicos, históricos e medidos, e equações matemáticas. Portanto, representam uma tendência do tempo necessário para a recorrência de um evento de certa magnitude e não uma certeza da sua ocorrência.

Cabe mencionar que todos os resultados e conclusões apresentados neste estudo são válidos para outros municípios da região, localizados às margens opostas aos analisados (Encantado e Estrela), uma vez que apresentam nível de referência e de inundação equivalentes. Como por exemplo, são válidos para o município de Lajeado, que faz divisa com o município de Estrela.

Com relação a trabalhos futuros sugere-se a atualização da série histórica das inundações ocorridas e a realização dos cálculos do TR para os demais municípios do Vale do Taquari/RS localizados as margens do Rio Taquari. Para Encantado e Estrela, indica-se testar outros métodos para obtenção do TR, como por exemplo, a distribuição de Gumbel, muito utilizada nos estudos desta área. Indica-se, também, organizar os dados em uma série anual de inundações para avaliação do TR dos municípios em questão.

Ainda com relação à continuidade de pesquisas nesta área sugere-se avaliar quais são as infraestruturas atingidas pelos diferentes níveis de inundação nos municípios da região visando auxiliar, a médio e longo prazo, no processo de retirada da população residente nestes locais e na percepção da frequência com que este fato ocorre. Outro estudo que poderá ser desenvolvido consiste na avaliação da probabilidade de ocorrência e do TR dos eventos extremos de precipitação pluviométrica que ocorrem na região, que estão associados aos eventos de inundações.

Recomenda-se que o CIH da Univates, bem como o Porto Fluvial de Estrela e as Defesas Civas Municipais, mantenham a continuidade do registro dos níveis máximos das inundações que venham a ocorrer na região. Este aspecto favorecerá alcançar uma série histórica de um período ainda mais amplo, contribuindo para melhorar a compreensão dinâmica deste fenômeno e facilitar estudos futuros. Além disso, recomenda-se que os cálculos realizados neste estudo sejam reavaliados permanentemente ao longo dos anos para, desta forma, considerar as possíveis mudanças do ciclo hidrológico.

## REFERÊNCIAS

BAPTISTA, M. B. NASCIMENTO, N. O. BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005.

BARBOSA, F. A. R. **Medidas de Proteção e Controle de Inundações Urbanas na Bacia do Rio Mamanguape/PB**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Centro de Tecnologia/Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa, 2006.

BDR – Banco de Dados Regional. **Perfil Socioeconômico do Vale do Taquari**. Lajeado: UNIVATES, 2011.

BOTH, G. C.; HAETINGUER, C.; FERREIRA, E. R.; DIEDRICH, V. L.; AZAMBUJA, J.L. Uso da modelagem matemática para a previsão de enchentes no Vale do Taquari – RS. In: VI Simpósio de Engenharia Ambiental, 2008, Serra Negra. **Artigo...** Serra Negra, 2008. Disponível em: <<http://ensino.univates.br/~chaet/Materiais/Modelagem/trab01000140.pdf>>. Acesso em: 15 mai. 2012.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchente**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CARVALHO, C. S. GALVÃO, T. (orgs.) **Prevenção de Risco de Deslizamentos em Encostas**: Guia para Elaboração de Políticas Municipais. Brasília: Ministério das Cidade; Cities Alliance, 2006.

CASTILHO, A. S. **Operação do Sistema de Alerta contra Enchentes na Bacia do Rio Doce**. III Seminário de Água-Negócio (SMEA). Governador Valadares, 2002. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/alerta/artigos/artigo2002.pdf> . Acesso em: 14 mai 2012.

CASTILHO, A. S. SILVA E. A. RODRIGUES V. V. **Estimativa do Período de Retorno Associado às Cotas de Alerta de Inundação e de Grandes Cheias na Bacia do Rio Doce**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH: Belo Horizonte, 1999.

CASTRO, A. L. C. (coord.) **Glossário de Defesa Civil Estudos de Riscos e Medicina de Desastres**. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil – SEDEC. 5ª edição. Brasília, 2009.

\_\_\_\_\_ (coord.) **Manual de Planejamento em Defesa Civil**. Volume I. Ministério da Integração Nacional. Brasília, 1999.

CASTRO, A. L. C. CALHEIROS, L. B. CUNHA, M. I. R. BRINGEL, M. L. N. C. **Manual de Desastres: Desastres Naturais**. Volume I. Ministério da Integração Nacional. Brasília, 2003.

CIH – Centro de Informações Hidrometeorológicas. **Dados sobre Enchentes no Vale do Taquari** (informações não publicadas). Lajeado: UNIVATES, 2007.

CONTIJO, N. T. **Avaliação das Relações de Frequência entre Precipitações e Enchentes Raras por Meio de Séries Sintéticas e Simulação Hidrológica**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 2007.

ECKARDT, R. R. **Geração de Modelo Cartográfico Aplicado ao Mapeamento das Áreas Sujeitas às Inundações Urbanas na Cidade de Lajeado / RS**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2008.

ECKHARDT, R. R. HAETINGER, C. SALDANHA, D. L. FERREIRA, E. R. FAVA E SILVA, J. DIEFRICH, V. L. **Previsão e Mapeamento da Área Urbana Inundável na Cidade de Lajeado - RS – Brasil**. In: VI International Conference on Engineering and Computer Education (ICECE), Buenos Aires, Argentina, 2009.

EM-DAT - International Disaster Database. Disponível em: <<http://www.emdat.be/world-map>>. Acesso em: 15 mar. 2012.

ENCANTADO (Município). Lei nº 1.566, de 30 de dezembro de 1991. Institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano do Município de Encantado e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.encantado-rs.com.br/site/leimunicipal.php?id=14>>. Acesso em: 16 out. 2012.

ESTRELA (Município). Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado, de 26 de outubro de 2006. Disponível em: <<http://www.estrela-rs.com.br/site/home/pddi/>>. Acesso em: 16 out. 2012.

EVANGELISTA, L. C. R. **Enchentes, fenômenos cíclicos?**. Dissertação (Mestrado profissionalizante em Engenharia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2005.

FEPAM – Fundação de Proteção ao Meio Ambiente. **Qualidade das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio das Antas e Rio Taquari**. Disponível em: [http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade\\_taquari\\_antas/taquariantas.asp](http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_taquari_antas/taquariantas.asp). Acesso em: 23 mai. 2012, texto digital.

FERREIRA, E. R.; BOTH, G. C. Estudo das enchentes no Vale do Taquari: causas e propostas de controle. In: MEEP, 4. Lajeado. **Anais...** Lajeado: UNIVATES, 2001.

FERREIRA, E. R.; ECKHARDT, R. R.; HAETINGUER, C.; BOTH, G.C; FAVA E SILVA, J.;DIEDRICH, V. L.; AZAMBUJA, J.L. Sistema de Previsão e Alerta de Enchentes no Vale

do Taquari – RS – BRASIL. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais e Tecnológicos (SIMBRADEN), 2, 2007, Santos. **Anais...** Sao Paulo: ABGE, 2007. CR-ROM.

FERRI, G. **História do Rio Taquari-Antas**. 1ª ed. Encantado: Grafen, 1991.

FILHO, A. G. A. SZÉLIGA, M. R. ENOMOTO, C. F. Estudo de Medidas Não Estruturais para Controle de Inundações Urbanas. In: REVISTA PUBLICATIO UEPG (Universidade Estadual de Ponta Grossa) CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS. **Artigos...** v. 6, n. 1, 2000, p 69-90. Disponível em: <<http://www.revistas2.uepg.br/index.php/exatas/article/viewFile/747/664>>. Acesso em: 09 mai. 2012.

FLINTSCH, G. B. A. **Prevenção das Enchentes no Baixo Taquari, Estrela/Bom Retiro do Sul – RS**. Monografia MBA Internacional em Gestão Ambiental. Porto Alegre, 2002.

FRANK, B. PINHEIRO, A. (org.) **Enchentes na Bacia do Rio Itajaí: 20 anos de experiências**. Blumenau: Edifurb, 2003.

FRANK, B. SEVEGNANI, L. (org.) **Desastre de 2008 no Vale do Itajaí. Água, gente e política**. Blumenau: Agência de Água do Vale do Itajaí, 2009.

GARCEZ, L. N. ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

GODIM FILHO, J. MEDEIROS, V. V. R. Gestão da Água no Meio Urbano e Controle de Inundações. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p. 443-453. Disponível em: <[http://www.cfh.ufsc.br/~gedn/sibraden/cd/EIXO%203\\_OK/3-33.pdf](http://www.cfh.ufsc.br/~gedn/sibraden/cd/EIXO%203_OK/3-33.pdf)>. Acesso em: 14 abr. 2012.

GOERL, R. F. KOBİYAMA, M. **Considerações sobre as inundações no Brasil**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa. Porto Alegre : ABRH, 2005.

GRIBBIN, J. E. **Introdução à Hidráulica e Hidrologia na Gestão de Águas Pluviais**. (tradução Glauco Peres Damas). São Paulo: Cengage Learning, 2009.

GUERRA, A. J. T. CUNHA, S. B. (orgs.) **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 7ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

HAETINGER, C. (coord.) ECKHARDT, R. R. BOTH, G. C. FERREIRA, E. R. MALHEIROS, M. G. **Projeto Revitalização da Infraestrutura e Aperfeiçoamento do Sistema de Previsão e Alerta de Enchentes do Vale do Taquari**. Lajeado: Univates, 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>>. Acesso em: 17 jun. 2012.

LAJEADO (Município). Lei nº 7.650, de 10 de outubro de 2006. Institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado de Lajeado. Disponível em: <[http://www.lajeado.rs.gov.br/download\\_anexo/index.asp?strARQUIVO=planodiretor.pdf&strDescricao=Plano%20Diretor](http://www.lajeado.rs.gov.br/download_anexo/index.asp?strARQUIVO=planodiretor.pdf&strDescricao=Plano%20Diretor)>. Acesso em: 16 out. 2012.

MALUTTA, S. KOBİYAMA, M. Análise do Período de Retorno das Últimas Inundações na Bacia Hidrográfica do Rio Negrinho/SC, Brasil. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos **Anais...** Maceió, 2011. Disponível em: <<http://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=3&ID=81&PAG=2>>. Acesso em: 27 out. 2012.

MARCELINHO, E. V. **Desastres Naturais e Geotecnologias: conceitos básicos**. Santa Maria: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE/CRS, 2008.

OLIVEIRA, G. G. **Modelos para Previsão, Espacialização e Análise das Áreas Inundáveis na Bacia Hidrográfica do Rio Caí, RS**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2010.

OLIVEIRA, G. G. SALDANHA, D. L. GUASSELLI, L. A. Espacialização e **Análise das Inundações na Bacia Hidrográfica do Rio Caí/RS**. Revista Geociências, v. 29, n. 3, p. 413-427, UNESP, São Paulo, 2010.

PACHECO, R. B. SOUZA JUNIOR, C. MAKINO, MIDORI. Distribuição Estatística, Período de Retorno e Risco Permissível de Vazão Máxima do Rio Xingu/PA. In: V Seminário Internacional de Defesa Civil (DEFENCIL), 2009, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2009.

PINTO, N. L. S. HOLTZ, A. C. T. MARTINS, J. A. GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica**. 11ª reimpr. São Paulo: Edgard Blucher, 2008.

PORTO ALEGRE - Secretaria de Planejamento Municipal. **Plano de Preservação do Ambiente Natural de Porto Alegre - Primeira Fase / Levantamento Geral Expedido**. Porto Alegre, 1975.

ROSMAN, P. C. C. MASCARENHAS, F. C. B. MIGUEZ, M. G. CAMPOS, R. O. G. EIGER, S. **Métodos Numéricos em Recursos Hídricos 5**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001.

SANTOS, R. F. (org.) **Vulnerabilidade Ambiental**. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Brasília, 2007.

SCHUMM, S. A. **Geomorphic hazard-problems of prediction**. In: Zeitschrift für eomorphologie. Vol. 67. Editora Gebrüder Borntraeger, 1988.

SILVA, G. S. **Sistema de Informações para Apoiar o Sistema de Alerta da Bacia do Itajaí**. Trabalho de conclusão de curso (Sistema de Informação) – Universidade Regional de Blumenau (FURB), Blumenau, 2009.

SILVA, H. S. CORDERO, A. SEVERO, D. L. TACHINI, M. REFOSCO, J. C. MOMO, M. R. **Centro de Operações do Sistema de Alerta da Bacia do Rio Itajaí** – operação, previsão e danos. Resumo IV MIPE - Mostra Integrada de Ensino, Pesquisa e Extensão, Dynamis Revista Tecno-científica, v. 16, nº. 2, Blumenau: FURB, 2010.

SILVA, J. B. L. **Modelo de Previsão de Enchentes em Tempo Real para o Município de Nova Era – MG**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, 2006.

SILVA, W. P. S. SILVA, C. M. D. P. S. CAVALCANTI, C. G. B. SILVA, D. D. P. S. SOARES, I. B. OLIVEIRA, J. A. S. SILVA, C. D. P. S. **LAB Fit Ajuste de Curvas: Um Software em Português para Tratamento de Dados Experimentais.** Rev. Brasileira de Ensino de Física, v. 26, n. 4, 2004.

TOMINAGA, L. K. SANTORO, J. AMARAL, R. (orgs.) **Desastres Naturais: conhecer para prevenir.** São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

TRENTIN, C. B. LACRUZ, M. S. P. SOUSA JR., M. A. SILVA, V. O. Análise da Ocorrência de Enchentes na Área de Abrangência do Rio Jacuí/RS com a Utilização de Imagens Modis e dados SRTM. In: V SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO E I SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA. 12 a 17 de maio de 2008, Santa Maria, RS, p. 3803-3815. **Anais...** Santa Maria, 2008. Disponível em: <<http://www.inpe.br/crs/geodesastres/publicacoes.php>>. Acesso em: 09 mai. 2012.

TUCCI, C. E. M. Água no Meio Urbano. In: REBOUÇAS, A. C., BRAGA, B., TUNDISI, J. G. (org.) **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** 3ª ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006. cap. 12.

\_\_\_\_\_. **Curso de Gestão das Inundações Urbanas.** Porto Alegre, 2005. Disponível em: <[http://www.sedur.ba.gov.br/pemapes/pdf/material\\_tecnico/Manual\\_Gestao\\_Inundacoes\\_Urbanas\\_Tucci\\_2005.pdf](http://www.sedur.ba.gov.br/pemapes/pdf/material_tecnico/Manual_Gestao_Inundacoes_Urbanas_Tucci_2005.pdf)>. Acesso em: 28 mar. 2012.

\_\_\_\_\_. (org.) **Hidrologia: ciência e aplicação.** 4 ed. 4ª reimp. Porto Alegre: Editora UFRGS/ABRH, 2012.

TUCCI, C. E. M. BERTONI, J. C. (org.) **Inundações Urbanas na América do Sul.** 1ª ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

VESTENA, L. R. **A importância da Hidrologia na Prevenção e Mitigação de Desastres Naturais.** Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais - *Ambiência*, v. 4, nº. 1, p. 151-162, Guarapuava, 2008.

## **APÊNDICES**

APÊNDICE A – Tempo de retorno calculado para os níveis de inundação, a cada 10 cm, do município de Encantado, considerando os últimos 72 anos

Nível (m)	Nº de ocorrência	Nº anos (N)	F	P (%)	TR (anos)	Nível (m)	Nº de ocorrência	Nº anos (N)	F	P (%)	TR (anos)
38	90	72	1,25	125,00	<b>0,80</b>	42,7	29	72	0,40	40,28	<b>2,48</b>
38,1	87	72	1,21	120,83	<b>0,83</b>	42,8	27	72	0,38	37,50	<b>2,67</b>
38,2	84	72	1,17	116,67	<b>0,86</b>	42,9	27	72	0,38	37,50	<b>2,67</b>
38,3	79	72	1,10	109,72	<b>0,91</b>	43	27	72	0,38	37,50	<b>2,67</b>
38,4	76	72	1,06	105,56	<b>0,95</b>	43,1	26	72	0,36	36,11	<b>2,77</b>
38,5	74	72	1,03	102,78	<b>0,97</b>	43,2	26	72	0,36	36,11	<b>2,77</b>
38,6	73	72	1,01	101,39	<b>0,99</b>	43,3	26	72	0,36	36,11	<b>2,77</b>
38,7	73	72	1,01	101,39	<b>0,99</b>	43,4	26	72	0,36	36,11	<b>2,77</b>
38,8	73	72	1,01	101,39	<b>0,99</b>	43,5	24	72	0,33	33,33	<b>3,00</b>
38,9	72	72	1,00	100,00	<b>1,00</b>	43,6	24	72	0,33	33,33	<b>3,00</b>
39	72	72	1,00	100,00	<b>1,00</b>	43,7	24	72	0,33	33,33	<b>3,00</b>
39,1	67	72	0,93	93,06	<b>1,07</b>	43,8	24	72	0,33	33,33	<b>3,00</b>
39,2	65	72	0,90	90,28	<b>1,11</b>	43,9	24	72	0,33	33,33	<b>3,00</b>
39,3	63	72	0,88	87,50	<b>1,14</b>	44	23	72	0,32	31,94	<b>3,13</b>
39,4	60	72	0,83	83,33	<b>1,20</b>	44,1	22	72	0,31	30,56	<b>3,27</b>
39,5	58	72	0,81	80,56	<b>1,24</b>	44,2	22	72	0,31	30,56	<b>3,27</b>
39,6	58	72	0,81	80,56	<b>1,24</b>	44,3	22	72	0,31	30,56	<b>3,27</b>
39,7	57	72	0,79	79,17	<b>1,26</b>	44,4	19	72	0,26	26,39	<b>3,79</b>
39,8	56	72	0,78	77,78	<b>1,29</b>	44,5	18	72	0,25	25,00	<b>4,00</b>
39,9	56	72	0,78	77,78	<b>1,29</b>	44,6	18	72	0,25	25,00	<b>4,00</b>
40	56	72	0,78	77,78	<b>1,29</b>	44,7	17	72	0,24	23,61	<b>4,24</b>
40,1	55	72	0,76	76,39	<b>1,31</b>	44,8	17	72	0,24	23,61	<b>4,24</b>
40,2	52	72	0,72	72,22	<b>1,38</b>	44,9	17	72	0,24	23,61	<b>4,24</b>
40,3	51	72	0,71	70,83	<b>1,41</b>	45	17	72	0,24	23,61	<b>4,24</b>
40,4	51	72	0,71	70,83	<b>1,41</b>	45,1	17	72	0,24	23,61	<b>4,24</b>
40,5	50	72	0,69	69,44	<b>1,44</b>	45,2	17	72	0,24	23,61	<b>4,24</b>
40,6	49	72	0,68	68,06	<b>1,47</b>	45,3	16	72	0,22	22,22	<b>4,50</b>
40,7	49	72	0,68	68,06	<b>1,47</b>	45,4	16	72	0,22	22,22	<b>4,50</b>
40,8	47	72	0,65	65,28	<b>1,53</b>	45,5	15	72	0,21	20,83	<b>4,80</b>
40,9	47	72	0,65	65,28	<b>1,53</b>	45,6	15	72	0,21	20,83	<b>4,80</b>
41	46	72	0,64	63,89	<b>1,57</b>	45,7	14	72	0,19	19,44	<b>5,14</b>
41,1	45	72	0,63	62,50	<b>1,60</b>	45,8	13	72	0,18	18,06	<b>5,54</b>
41,2	44	72	0,61	61,11	<b>1,64</b>	45,9	13	72	0,18	18,06	<b>5,54</b>
41,3	43	72	0,60	59,72	<b>1,67</b>	46	13	72	0,18	18,06	<b>5,54</b>
41,4	40	72	0,56	55,56	<b>1,80</b>	46,1	13	72	0,18	18,06	<b>5,54</b>
41,5	39	72	0,54	54,17	<b>1,85</b>	46,2	10	72	0,14	13,89	<b>7,20</b>
41,6	36	72	0,50	50,00	<b>2,00</b>	46,3	8	72	0,11	11,11	<b>9,00</b>
41,7	36	72	0,50	50,00	<b>2,00</b>	46,4	8	72	0,11	11,11	<b>9,00</b>
41,8	35	72	0,49	48,61	<b>2,06</b>	46,5	6	72	0,08	8,33	<b>12,00</b>

continua

APÊNDICE A – Tempo de retorno calculado para os níveis de inundação, a cada 10 cm, do município de Encantado, considerando os últimos 72 anos

Nível (m)	Nº de ocorrência	Nº anos (N)	F	P (%)	TR (anos)	Nível (m)	Nº de ocorrência	Nº anos (N)	F	P (%)	TR (anos)
41,9	34	72	0,47	47,22	<b>2,12</b>	46,6	6	72	0,08	8,33	<b>12,00</b>
42	34	72	0,47	47,22	<b>2,12</b>	46,7	5	72	0,07	6,94	<b>14,40</b>
42,1	32	72	0,44	44,44	<b>2,25</b>	46,8	5	72	0,07	6,94	<b>14,40</b>
42,2	32	72	0,44	44,44	<b>2,25</b>	46,9	5	72	0,07	6,94	<b>14,40</b>
42,3	32	72	0,44	44,44	<b>2,25</b>	47	5	72	0,07	6,94	<b>14,40</b>
42,4	32	72	0,44	44,44	<b>2,25</b>	47,1	5	72	0,07	6,94	<b>14,40</b>
42,5	32	72	0,44	44,44	<b>2,25</b>	47,2	4	72	0,06	5,56	<b>18,00</b>
42,6	32	72	0,44	44,44	<b>2,25</b>	47,3	1	72	0,01	1,39	<b>72,00</b>

conclusão

APÊNDICE B – Tempo de retorno calculado para os níveis de inundação, a cada 10 cm, do município de Encantado, considerando os últimos 30 anos

Nível (m)	Nº de ocorrência	Nº anos (N)	F	P (%)	TR (anos)	Nível (m)	Nº de ocorrência	Nº anos (N)	F	P (%)	TR (anos)
38	48	30	1,60	160,00	<b>0,63</b>	42,7	18	30	0,60	60,00	<b>1,67</b>
38,1	46	30	1,53	153,33	<b>0,65</b>	42,8	17	30	0,57	56,67	<b>1,76</b>
38,2	45	30	1,50	150,00	<b>0,67</b>	42,9	17	30	0,57	56,67	<b>1,76</b>
38,3	44	30	1,47	146,67	<b>0,68</b>	43	17	30	0,57	56,67	<b>1,76</b>
38,4	42	30	1,40	140,00	<b>0,71</b>	43,1	16	30	0,53	53,33	<b>1,88</b>
38,5	41	30	1,37	136,67	<b>0,73</b>	43,2	16	30	0,53	53,33	<b>1,88</b>
38,6	41	30	1,37	136,67	<b>0,73</b>	43,3	16	30	0,53	53,33	<b>1,88</b>
38,7	41	30	1,37	136,67	<b>0,73</b>	43,4	16	30	0,53	53,33	<b>1,88</b>
38,8	41	30	1,37	136,67	<b>0,73</b>	43,5	15	30	0,50	50,00	<b>2,00</b>
38,9	40	30	1,33	133,33	<b>0,75</b>	43,6	15	30	0,50	50,00	<b>2,00</b>
39	40	30	1,33	133,33	<b>0,75</b>	43,7	15	30	0,50	50,00	<b>2,00</b>
39,1	36	30	1,20	120,00	<b>0,83</b>	43,8	15	30	0,50	50,00	<b>2,00</b>
39,2	34	30	1,13	113,33	<b>0,88</b>	43,9	15	30	0,50	50,00	<b>2,00</b>
39,3	33	30	1,10	110,00	<b>0,91</b>	44	14	30	0,47	46,67	<b>2,14</b>
39,4	30	30	1,00	100,00	<b>1,00</b>	44,1	13	30	0,43	43,33	<b>2,31</b>
39,5	29	30	0,97	96,67	<b>1,03</b>	44,2	13	30	0,43	43,33	<b>2,31</b>
39,6	29	30	0,97	96,67	<b>1,03</b>	44,3	13	30	0,43	43,33	<b>2,31</b>
39,7	29	30	0,97	96,67	<b>1,03</b>	44,4	13	30	0,43	43,33	<b>2,31</b>
39,8	29	30	0,97	96,67	<b>1,03</b>	44,5	12	30	0,40	40,00	<b>2,50</b>
39,9	29	30	0,97	96,67	<b>1,03</b>	44,6	12	30	0,40	40,00	<b>2,50</b>
40	29	30	0,97	96,67	<b>1,03</b>	44,7	11	30	0,37	36,67	<b>2,73</b>
40,1	29	30	0,97	96,67	<b>1,03</b>	44,8	11	30	0,37	36,67	<b>2,73</b>
40,2	28	30	0,93	93,33	<b>1,07</b>	44,9	11	30	0,37	36,67	<b>2,73</b>
40,3	27	30	0,90	90,00	<b>1,11</b>	45	11	30	0,37	36,67	<b>2,73</b>
40,4	27	30	0,90	90,00	<b>1,11</b>	45,1	11	30	0,37	36,67	<b>2,73</b>
40,5	27	30	0,90	90,00	<b>1,11</b>	45,2	11	30	0,37	36,67	<b>2,73</b>
40,6	27	30	0,90	90,00	<b>1,11</b>	45,3	11	30	0,37	36,67	<b>2,73</b>
40,7	27	30	0,90	90,00	<b>1,11</b>	45,4	11	30	0,37	36,67	<b>2,73</b>
40,8	26	30	0,87	86,67	<b>1,15</b>	45,5	11	30	0,37	36,67	<b>2,73</b>
40,9	26	30	0,87	86,67	<b>1,15</b>	45,6	11	30	0,37	36,67	<b>2,73</b>
41	25	30	0,83	83,33	<b>1,20</b>	45,7	10	30	0,33	33,33	<b>3,00</b>
41,1	24	30	0,80	80,00	<b>1,25</b>	45,8	9	30	0,30	30,00	<b>3,33</b>
41,2	23	30	0,77	76,67	<b>1,30</b>	45,9	9	30	0,30	30,00	<b>3,33</b>
41,3	23	30	0,77	76,67	<b>1,30</b>	46	9	30	0,30	30,00	<b>3,33</b>
41,4	22	30	0,73	73,33	<b>1,36</b>	46,1	9	30	0,30	30,00	<b>3,33</b>
41,5	22	30	0,73	73,33	<b>1,36</b>	46,2	6	30	0,20	20,00	<b>5,00</b>
41,6	21	30	0,70	70,00	<b>1,43</b>	46,3	6	30	0,20	20,00	<b>5,00</b>
41,7	21	30	0,70	70,00	<b>1,43</b>	46,4	6	30	0,20	20,00	<b>5,00</b>

continua

APÊNDICE B – Tempo de retorno calculado para os níveis de inundação, a cada 10 cm, do município de Encantado, considerando os últimos 30 anos

Nível (m)	Nº de ocorrência	Nº anos (N)	F	P (%)	TR (anos)	Nível (m)	Nº de ocorrência	Nº anos (N)	F	P (%)	TR (anos)
41,8	21	30	0,70	70,00	<b>1,43</b>	46,5	4	30	0,13	13,33	<b>7,50</b>
41,9	21	30	0,70	70,00	<b>1,43</b>	46,6	4	30	0,13	13,33	<b>7,50</b>
42	21	30	0,70	70,00	<b>1,43</b>	46,7	3	30	0,10	10,00	<b>10,00</b>
42,1	19	30	0,63	63,33	<b>1,58</b>	46,8	3	30	0,10	10,00	<b>10,00</b>
42,2	19	30	0,63	63,33	<b>1,58</b>	46,9	3	30	0,10	10,00	<b>10,00</b>
42,3	19	30	0,63	63,33	<b>1,58</b>	47	3	30	0,10	10,00	<b>10,00</b>
42,4	19	30	0,63	63,33	<b>1,58</b>	47,1	3	30	0,10	10,00	<b>10,00</b>
42,5	19	30	0,63	63,33	<b>1,58</b>	47,2	3	30	0,10	10,00	<b>10,00</b>
42,6	19	30	0,63	63,33	<b>1,58</b>	47,3	1	30	0,03	3,33	<b>30,00</b>

conclusão

APÊNDICE C – Tempo de retorno calculado para os níveis de inundação, a cada 10 cm, do município de Estrela, considerando os últimos 73 anos

Nível (m)	Nº de ocorrência	Nº anos (N)	F	P (%)	TR (anos)	Nível (m)	Nº de ocorrência	Nº anos (N)	F	P (%)	TR (anos)
19	66	73	0,90	90,41	<b>1,11</b>	24,5	23	73	0,32	31,51	<b>3,17</b>
19,1	66	73	0,90	90,41	<b>1,11</b>	24,6	21	73	0,29	28,77	<b>3,48</b>
19,2	66	73	0,90	90,41	<b>1,11</b>	24,7	20	73	0,27	27,40	<b>3,65</b>
19,3	66	73	0,90	90,41	<b>1,11</b>	24,8	19	73	0,26	26,03	<b>3,84</b>
19,4	66	73	0,90	90,41	<b>1,11</b>	24,9	19	73	0,26	26,03	<b>3,84</b>
19,5	65	73	0,89	89,04	<b>1,12</b>	25	18	73	0,25	24,66	<b>4,06</b>
19,6	64	73	0,88	87,67	<b>1,14</b>	25,1	18	73	0,25	24,66	<b>4,06</b>
19,7	60	73	0,82	82,19	<b>1,22</b>	25,2	18	73	0,25	24,66	<b>4,06</b>
19,8	59	73	0,81	80,82	<b>1,24</b>	25,3	18	73	0,25	24,66	<b>4,06</b>
19,9	58	73	0,79	79,45	<b>1,26</b>	25,4	17	73	0,23	23,29	<b>4,29</b>
20	58	73	0,79	79,45	<b>1,26</b>	25,5	17	73	0,23	23,29	<b>4,29</b>
20,1	58	73	0,79	79,45	<b>1,26</b>	25,6	17	73	0,23	23,29	<b>4,29</b>
20,2	58	73	0,79	79,45	<b>1,26</b>	25,7	16	73	0,22	21,92	<b>4,56</b>
20,3	57	73	0,78	78,08	<b>1,28</b>	25,8	16	73	0,22	21,92	<b>4,56</b>
20,4	56	73	0,77	76,71	<b>1,30</b>	25,9	16	73	0,22	21,92	<b>4,56</b>
20,5	54	73	0,74	73,97	<b>1,35</b>	26	13	73	0,18	17,81	<b>5,62</b>
20,6	54	73	0,74	73,97	<b>1,35</b>	26,1	13	73	0,18	17,81	<b>5,62</b>
20,7	53	73	0,73	72,60	<b>1,38</b>	26,2	13	73	0,18	17,81	<b>5,62</b>
20,8	52	73	0,71	71,23	<b>1,40</b>	26,3	12	73	0,16	16,44	<b>6,08</b>
20,9	52	73	0,71	71,23	<b>1,40</b>	26,4	10	73	0,14	13,70	<b>7,30</b>
21	51	73	0,70	69,86	<b>1,43</b>	26,5	8	73	0,11	10,96	<b>9,13</b>
21,1	50	73	0,68	68,49	<b>1,46</b>	26,6	8	73	0,11	10,96	<b>9,13</b>
21,2	47	73	0,64	64,38	<b>1,55</b>	26,7	6	73	0,08	8,22	<b>12,17</b>
21,3	45	73	0,62	61,64	<b>1,62</b>	26,8	6	73	0,08	8,22	<b>12,17</b>
21,4	44	73	0,60	60,27	<b>1,66</b>	26,9	5	73	0,07	6,85	<b>14,60</b>
21,5	44	73	0,60	60,27	<b>1,66</b>	27	4	73	0,05	5,48	<b>18,25</b>
21,6	41	73	0,56	56,16	<b>1,78</b>	27,1	4	73	0,05	5,48	<b>18,25</b>
21,7	41	73	0,56	56,16	<b>1,78</b>	27,2	4	73	0,05	5,48	<b>18,25</b>
21,8	38	73	0,52	52,05	<b>1,92</b>	27,3	4	73	0,05	5,48	<b>18,25</b>
21,9	38	73	0,52	52,05	<b>1,92</b>	27,4	3	73	0,04	4,11	<b>24,33</b>
22	38	73	0,52	52,05	<b>1,92</b>	27,5	2	73	0,03	2,74	<b>36,50</b>
22,1	37	73	0,51	50,68	<b>1,97</b>	27,6	2	73	0,03	2,74	<b>36,50</b>
22,2	36	73	0,49	49,32	<b>2,03</b>	27,7	2	73	0,03	2,74	<b>36,50</b>
22,3	35	73	0,48	47,95	<b>2,09</b>	27,8	2	73	0,03	2,74	<b>36,50</b>
22,4	35	73	0,48	47,95	<b>2,09</b>	27,9	2	73	0,03	2,74	<b>36,50</b>
22,5	34	73	0,47	46,58	<b>2,15</b>	28	2	73	0,03	2,74	<b>36,50</b>
22,6	34	73	0,47	46,58	<b>2,15</b>	28,1	2	73	0,03	2,74	<b>36,50</b>
22,7	34	73	0,47	46,58	<b>2,15</b>	28,2	2	73	0,03	2,74	<b>36,50</b>
22,8	32	73	0,44	43,84	<b>2,28</b>	28,3	2	73	0,03	2,74	<b>36,50</b>

continua

APÊNDICE C – Tempo de retorno calculado para os níveis de inundação, a cada 10 cm, do município de Estrela, considerando os últimos 73 anos

Nível (m)	Nº de ocorrência	Nº anos (N)	F	P (%)	TR (anos)	Nível (m)	Nº de ocorrência	Nº anos (N)	F	P (%)	TR (anos)
22,9	30	73	0,41	41,10	<b>2,43</b>	28,4	2	73	0,03	2,74	<b>36,50</b>
23	29	73	0,40	39,73	<b>2,52</b>	28,5	2	73	0,03	2,74	<b>36,50</b>
23,1	29	73	0,40	39,73	<b>2,52</b>	28,6	2	73	0,03	2,74	<b>36,50</b>
23,2	29	73	0,40	39,73	<b>2,52</b>	28,7	2	73	0,03	2,74	<b>36,50</b>
23,3	29	73	0,40	39,73	<b>2,52</b>	28,8	2	73	0,03	2,74	<b>36,50</b>
23,4	29	73	0,40	39,73	<b>2,52</b>	28,9	1	73	0,01	1,37	<b>73,00</b>
23,5	27	73	0,37	36,99	<b>2,70</b>	29	1	73	0,01	1,37	<b>73,00</b>
23,6	27	73	0,37	36,99	<b>2,70</b>	29,1	1	73	0,01	1,37	<b>73,00</b>
23,7	27	73	0,37	36,99	<b>2,70</b>	29,2	1	73	0,01	1,37	<b>73,00</b>
23,8	27	73	0,37	36,99	<b>2,70</b>	29,3	1	73	0,01	1,37	<b>73,00</b>
23,9	27	73	0,37	36,99	<b>2,70</b>	29,4	1	73	0,01	1,37	<b>73,00</b>
24	24	73	0,33	32,88	<b>3,04</b>	29,5	1	73	0,01	1,37	<b>73,00</b>
24,1	24	73	0,33	32,88	<b>3,04</b>	29,6	1	73	0,01	1,37	<b>73,00</b>
24,2	24	73	0,33	32,88	<b>3,04</b>	29,7	1	73	0,01	1,37	<b>73,00</b>
24,3	23	73	0,32	31,51	<b>3,17</b>	29,8	1	73	0,01	1,37	<b>73,00</b>
24,4	23	73	0,32	31,51	<b>3,17</b>	29,9	1	73	0,01	1,37	<b>73,00</b>

conclusão

APÊNDICE D – Tempo de retorno calculado para os níveis de inundação, a cada 10 cm, do município de Estrela, considerando os últimos 30 anos

Nível (m)	Nº de ocorrência	Nº anos (N)	F	P (%)	TR (anos)	Nível (m)	Nº de ocorrência	Nº anos (N)	F	P (%)	TR (anos)
19	45	30	1,50	150,00	<b>0,67</b>	23	17	30	0,57	56,67	<b>1,76</b>
19,1	45	30	1,50	150,00	<b>0,67</b>	23,1	17	30	0,57	56,67	<b>1,76</b>
19,2	45	30	1,50	150,00	<b>0,67</b>	23,2	17	30	0,57	56,67	<b>1,76</b>
19,3	45	30	1,50	150,00	<b>0,67</b>	23,3	17	30	0,57	56,67	<b>1,76</b>
19,4	45	30	1,50	150,00	<b>0,67</b>	23,4	17	30	0,57	56,67	<b>1,76</b>
19,5	44	30	1,47	146,67	<b>0,68</b>	23,5	16	30	0,53	53,33	<b>1,88</b>
19,6	43	30	1,43	143,33	<b>0,70</b>	23,6	16	30	0,53	53,33	<b>1,88</b>
19,7	39	30	1,30	130,00	<b>0,77</b>	23,7	16	30	0,53	53,33	<b>1,88</b>
19,8	38	30	1,27	126,67	<b>0,79</b>	23,8	16	30	0,53	53,33	<b>1,88</b>
19,9	37	30	1,23	123,33	<b>0,81</b>	23,9	16	30	0,53	53,33	<b>1,88</b>
20	37	30	1,23	123,33	<b>0,81</b>	24	15	30	0,50	50,00	<b>2,00</b>
20,1	37	30	1,23	123,33	<b>0,81</b>	24,1	15	30	0,50	50,00	<b>2,00</b>
20,2	37	30	1,23	123,33	<b>0,81</b>	24,2	15	30	0,50	50,00	<b>2,00</b>
20,3	36	30	1,20	120,00	<b>0,83</b>	24,3	14	30	0,47	46,67	<b>2,14</b>
20,4	35	30	1,17	116,67	<b>0,86</b>	24,4	14	30	0,47	46,67	<b>2,14</b>
20,5	33	30	1,10	110,00	<b>0,91</b>	24,5	13	30	0,43	43,33	<b>2,31</b>
20,6	33	30	1,10	110,00	<b>0,91</b>	24,6	12	30	0,40	40,00	<b>2,50</b>
20,7	32	30	1,07	106,67	<b>0,94</b>	24,7	11	30	0,37	36,67	<b>2,73</b>
20,8	31	30	1,03	103,33	<b>0,97</b>	24,8	10	30	0,33	33,33	<b>3,00</b>
20,9	31	30	1,03	103,33	<b>0,97</b>	24,9	10	30	0,33	33,33	<b>3,00</b>
21	30	30	1,00	100,00	<b>1,00</b>	25	10	30	0,33	33,33	<b>3,00</b>
21,1	30	30	1,00	100,00	<b>1,00</b>	25,1	10	30	0,33	33,33	<b>3,00</b>
21,2	28	30	0,93	93,33	<b>1,07</b>	25,2	10	30	0,33	33,33	<b>3,00</b>
21,3	28	30	0,93	93,33	<b>1,07</b>	25,3	10	30	0,33	33,33	<b>3,00</b>
21,4	27	30	0,90	90,00	<b>1,11</b>	25,4	9	30	0,30	30,00	<b>3,33</b>
21,5	27	30	0,90	90,00	<b>1,11</b>	25,5	9	30	0,30	30,00	<b>3,33</b>
21,6	24	30	0,80	80,00	<b>1,25</b>	25,6	8	30	0,27	26,67	<b>3,75</b>
21,7	24	30	0,80	80,00	<b>1,25</b>	25,7	8	30	0,27	26,67	<b>3,75</b>
21,8	22	30	0,73	73,33	<b>1,36</b>	25,8	8	30	0,27	26,67	<b>3,75</b>
21,9	22	30	0,73	73,33	<b>1,36</b>	25,9	6	30	0,20	20,00	<b>5,00</b>
22	22	30	0,73	73,33	<b>1,36</b>	26	6	30	0,20	20,00	<b>5,00</b>
22,1	22	30	0,73	73,33	<b>1,36</b>	26,1	6	30	0,20	20,00	<b>5,00</b>
22,2	21	30	0,70	70,00	<b>1,43</b>	26,2	6	30	0,20	20,00	<b>5,00</b>
22,3	20	30	0,67	66,67	<b>1,50</b>	26,3	5	30	0,17	16,67	<b>6,00</b>
22,4	20	30	0,67	66,67	<b>1,50</b>	26,4	4	30	0,13	13,33	<b>7,50</b>
22,5	19	30	0,63	63,33	<b>1,58</b>	26,5	4	30	0,13	13,33	<b>7,50</b>
22,6	19	30	0,63	63,33	<b>1,58</b>	26,6	4	30	0,13	13,33	<b>7,50</b>
22,7	19	30	0,63	63,33	<b>1,58</b>	26,7	2	30	0,07	6,67	<b>15,00</b>
22,8	19	30	0,63	63,33	<b>1,58</b>	26,8	2	30	0,07	6,67	<b>15,00</b>
22,9	18	30	0,60	60,00	<b>1,67</b>	26,9	1	30	0,03	3,33	<b>30,00</b>

