

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Roberta Karinne Mocva Kurek

**ANÁLISE DAS INUNDAÇÕES NO VALE DO TAQUARI/RS COMO  
SUBSÍDIO À ELABORAÇÃO DE UM MODELO DE PREVISÃO**

Santa Maria, RS  
2016



**Roberta Karinne Mocva Kurek**

**ANÁLISE DAS INUNDAÇÕES NO VALE DO TAQUARI/RS COMO SUBSÍDIO À  
ELABORAÇÃO DE UM MODELO DE PREVISÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil**.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Rutinéia Tassi

Santa Maria, RS, Brasil  
2016

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Kurek, Roberta Karinne Mocva  
ANÁLISE DAS INUNDAÇÕES NO VALE DO TAQUARI/RS COMO  
SUBSÍDIO À ELABORAÇÃO DE UM MODELO DE PREVISÃO / Roberta  
Karinne Mocva Kurek.-2016.  
178 p.; 30cm

Orientadora: Rutineia Tassi  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil, RS, 2016

1. Inundações 2. Vale do Taquari/RS 3. Modelo de  
previsão I. Tassi, Rutineia II. Título.



**Roberta Karinne Mocva Kurek**

**ANÁLISE DAS INUNDAÇÕES NO VALE DO TAQUARI/RS COMO SUBSÍDIO À  
ELABORAÇÃO DE UM MODELO DE PREVISÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil**.

**Aprovada em 12 de janeiro de 2016:**

---

**Rutineia Tassi, Dra. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Daniel Gustavo Allasia Piccilli, Dr. (UFSM)**

---

**Guilherme Garcia de Oliveira, Dr. (UNIVATES)**

Santa Maria, RS  
2016



## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a todas as pessoas que passaram em minha vida até o momento, pois, com certeza, contribuíram para a formação da pessoa que sou e as minhas conquistas.

Agradeço a minha família inteira (desde os tios(as) e primos(as)), pela presença fundamental em minha vida, nos momentos de alegria e tristeza. Por me fazerem descobrir o real sentido de viver, compartilhando as emoções e sentimentos. Por me darem força, apoio e amor nos momentos difíceis.

Agradeço imensamente a minha mãe, Nara Taisa, pelo amor incondicional e todos os seus ensinamentos. Por estar ao meu lado sempre (inclusive nos momentos mais tensos), dando apoio e possibilitando os meus sonhos. Por ser à base da minha vida. *“Sem amor, eu nada seria” (Renato Russo).*

Agradeço (muito!) ao meu namorado, Junior, por toda a sua compreensão e incentivo ao longo desta caminhada. Por entender a necessidade da ausência nos finais de semana. Por demonstrar um amor verdadeiro e companheirismo em todos os momentos (bons e ruins). Muito obrigada por estar sempre comigo, me fazendo feliz e mostrando que a distância nos deixa mais forte! Te amo! *“Você me faz tão bem” (Lulu Santos).*

Agradeço a minha professora/orientadora, Rutineia Tassi, por, simplesmente, tudo! Por conceder esta oportunidade em minha vida. Pelos ensinamentos, apoio, paciência e amizade em todos os momentos. Minha mestra! Muito obrigada, lembrarei sempre de você!

Agradeço a todos os professores do PPGEC, da área de recursos hídricos, pelos ensinamentos repassados ao longo do mestrado. Especialmente, aos professores Daniel Picilli e Débora Bayer, pelas sugestões para o desenvolvimento desta pesquisa.

Agradeço, também, aos meus colegas de mestrado, principalmente, aos do grupo de pesquisa Ecotecnologias, pela amizade e ajuda durante o curso.

À Marília, secretária do PPGEC, pelo auxílio em diversos momentos.

À Universidade Federal de Santa Maria pelo ambiente acadêmico.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

À todos que contribuíram de alguma forma para a realização desta pesquisa.



*Se queremos progredir, não devemos repetir a história, mas fazer uma história nova.*

*(Mahatma Gandhi)*



## RESUMO

### ANÁLISE DAS INUNDAÇÕES NO VALE DO TAQUARI/RS COMO SUBSÍDIO À ELABORAÇÃO DE UM MODELO DE PREVISÃO

AUTORA: Roberta Karinne Mocva Kurek

ORIENTADORA: Rutineia Tassi

O objetivo deste estudo foi identificar as variáveis hidrológicas fundamentais na formação das inundações e desenvolver um modelo de previsão das inundações em tempo real e com simples operacionalização, para a região do Vale do Taquari, situada no Rio Grande do Sul. Desta maneira, em um primeiro momento a área de estudo se concentrou na bacia hidrográfica Taquari-Antas e, após, no trecho que compreende a região do Vale do Taquari, sobretudo entre os municípios de Muçum e Estrela, os mais afetados pelas inundações. Para atingir os objetivos avaliou-se a rede monitoramento hidrológico existente na bacia hidrográfica Taquari-Antas; o comportamento hidrológico desta e, por fim, elaborou-se um modelo de simples operação para previsão da cota máxima de inundações no município de Estrela. Como fonte de dados hidrológicos utilizou-se o Sistema de Informações Hidrológicas da ANA (Hidroweb) e os registros realizados por outras instituições locais. A avaliação da rede de monitoramento hidrológico baseou-se nas recomendações da WMO.

A análise do comportamento hidrológico decorreu da avaliação morfométrica, tempo de concentração das principais sub-bacias e pontos ao longo do rio principal e recorrência das cotas máximas no trecho mais crítico à inundações. Utilizaram os seguintes softwares ao longo do estudo: ArcGis versão 10.1; EasyFit versão 5.6; Action; sendo que todos os procedimentos de cálculos foram realizando no Excel. Quanto ao modelo, optou-se pela sua concepção através do método de regressão linear múltipla. Testaram 59 opções de ajuste, tendo em vista as combinações da série de cota máxima de Estrela com as variáveis explicativas: séries de cotas de seções a montante de Estrela (Encantado e Muçum), ocorridas no dia do evento de Estrela, no dia anterior e referente ao valor máximo registrado durante o evento; bem como série de dados da precipitação média acumulada na sub-bacia em "x" dias anterior ao evento. A verificação do melhor ajuste ocorreu através das medidas de qualidade: erro médio quadrático, erro padrão, coeficiente de Nash-Sutcliffe; determinação e correlação de Pearson. O melhor modelo encontrado foi submetido à verificação do atendimento das hipóteses do método. A partir dos resultados concluiu-se que o modelo de regressão linear consistido pela equação identificada como função n.º 54 modificada proporcionou os melhores resultados para a previsão de inundação em Estrela.

Tal modelo baseia-se nas cotas máximas a montante no município de Muçum e Encantado e, em função do tempo de pico entre os municípios ser inferior a um dia, recomenda-se a aplicação de forma horária. Constatou-se que a precipitação média não apresenta significância estatística na composição do modelo de regressão. Ainda verificou-se que: (i) a bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas apresenta rápida resposta à maioria dos eventos de chuvas com elevados volumes; e (ii) há necessidade de uma rede com melhor qualidade, tanto espacialmente, quanto temporalmente. Resumidamente, este estudo conferiu resultados satisfatórios à área acadêmica e, futuramente, poderá proporcionar uma contribuição social significativa, dada a sua continuidade e aplicabilidade.

**Palavras-chave:** Inundações. Vale do Taquari/RS. Modelo de previsão.





## ABSTRACT

### ANALYSIS OF FLOODS IN THE VALE DO TAQUARI/RS AS SUBSIDY THE DEVELOPMENT OF A FORECAST MODEL

AUTHOR: Roberta Karinne Mocva Kurek

ADVISER: Rutineia Tassi

This study aimed identify the fundamental hydrological variables in the formation of floods and develop a forecast model of floods in real time and with simple operation, for the region of Vale do Taquari, located in Rio Grande do Sul. Thus, at first the study area focused on watershed of the Taquari-Antas river and, subsequently, in the stretch comprising the region of Vale do Taquari, especially among the municipalities of Muçum and Estrela, the most affected by the floods. To achieve the aim was evaluated the existing hydrological monitoring network in the watershed of the Taquari-Antas river; the hydrological behavior of this and finally elaborated a model of simple operation for forecast maximum level of flood in the municipality of Estrela. As hydrological data source used the Hydrological Information System the National Water Agency (HIDROWEB) and records made by other local institutions. The evaluation of the hydrological monitoring network was based on the recommendations of the WMO. The analysis of the hydrological behavior stems from evaluation of morphology, time of concentration of the main sub-basins and points along the main river and recurrence of the highest elevations in the most critical stretch to floods. Utilized the following software throughout the study: ArcGis version 10.1; EasyFit version 5.6; Action; and all calculations procedures were conducting in Excel. As for the model, it has been produced by the multiple linear regression method. 59 tuning options were tested through combinations of the series of maximum level star with the explanatory variables: river levels series in sections upstream Estrela (Encantado and Muçum), which occurred on the day of the Estrela event, on earlier and concerning the maximum amount recorded during the event; as well as data series of cumulative average rainfall in the sub-basin in "x" days prior to the event. There was the best fit through quality measures: mean square error, standard error, Nash-Sutcliffe coefficient; determination and Pearson correlation. The best model found was submitted to verify the compliance of the hypothesis of the method. Based on the results it is concluded that the linear regression model composed by the equation identified as function n<sup>o</sup>. 54 modified provided the best results for forecast floods in Estrela. This model is based on the maximum levels upstream in Muçum and Encantado municipality and, due to the peak time between the cities be less than one day, it is recommended to apply hourly basis. It was found that the average rainfall no statistical significance in the composition of the regression model. Still, it was found that: (i) the watershed of the Taquari-Antas river presents rapid response to most of the rainfall events with high volumes; and (ii) there is need of network with better quality, both spatially and temporally. In summary, this study gives satisfactory results to the academic area and in the future could provide a significant social contribution, given its continuity and applicability.

**Keywords:** Floods. Vale do Taquari/RS. Forecast model.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação do processo de enchente/cheia e inundação.....	21
Figura 2 - Porcentagem de ocorrência de desastres naturais por regiões do Brasil (1991-2012).....	24
Figura 3 – Representação do comportamento da previsão da vazão com base em diferentes dados de entrada.....	33
Figura 4 – Localização da bacia hidrográfica Taquari-Antas.....	43
Figura 5 – Mapa altimétrico da bacia hidrográfica Taquari-Antas .....	45
Figura 6 – Localização do Vale do Taquari/RS, com destaque dos municípios situados à margem do rio Taquari.....	46
Figura 7 – Localização das estações fluviométricas e pluviométricas da Univates...	52
Figura 8 – Fotocópia do caderno de registro das cotas do rio Taquari pelo Porto Fluvial de Estrela.....	66
Figura 9 – Séries temporais de cotas máximas diárias de Estrela e Encantado.....	68
Figura 10 – Séries de dados de cota dos linígrafos do sistema de monitoramento da Univates .....	69
Figura 11 – Limite das regiões fisiográficas definidas para a bacia hidrográfica Taquari-Antas.....	71
Figura 12 – Localização e avaliação da rede de estações pluviométricas .....	74
Figura 13 – Localização e avaliação da rede de estações fluviométricas – cota .....	74
Figura 14 – Localização e avaliação da rede de estações fluviométricas – vazão....	75
Figura 15 – Localização das principais sub-bacias da bacia hidrográfica Taquari-Antas .....	79
Figura 16 - Localização dos pontos de avaliação do tempo de concentração .....	83
Figura 17 – Estações pluviométricas utilizadas para estimar o tempo de concentração.....	84
Figura 18 – Série de dados de linígrafos dos municípios de Encantado e Estrela....	86
Figura 19 – Séries cotas máximas anuais do rio Taquari em Estrela e Encantado, utilizadas para análise de recorrência das cotas.....	87
Figura 20 – Histograma da série de cota máxima anual de Estrela (1980 à 2012)...	88
Figura 21 – Histograma da série de cota máxima anual de Encantado (1941 à 1997). .....	88
Figura 22 – Gráfico da função densidade de probabilidade das nove distribuições probabilísticas testadas para a série de cotas máximas de Estrela .....	90
Figura 23 – Gráfico P-P, comparação entre as probabilidades teórica e empírica aplicada à série de cotas máximas de Estrela, englobando as nove distribuições probabilísticas testadas .....	91
Figura 24 - Gráfico da função densidade de probabilidade das nove distribuições probabilísticas testadas para a série de cotas máximas de Encantado .	93
Figura 25 - Gráfico P-P, comparação entre as probabilidades teórica e empírica aplicada a série de cotas máximas de Encantado, englobando as nove distribuições probabilísticas testadas .....	94

Figura 26 – Representação gráfica das melhores correlações obtidas entre a série de cota máxima de Estrela e série de cota máxima de Encantado (A), série de cota máxima de Muçum (B), série de precipitação média acumulada em 2 dias anteriores (C) e série de precipitação média acumulada em 3 dias anteriores (D).....	106
Figura 27 – Representação gráfica das melhores correlações obtidas entre a série de cota máxima de Encantado e série de cota máxima de Muçum (A), série de precipitação média acumulada em 3 dias anteriores (B) e série de precipitação média acumulada em 2 dias anteriores (C).....	107
Figura 28 – Histograma gerado através dos resíduos do modelo de regressão linear função nº 54.....	119
Figura 29 – Ajuste entre os resíduos da função nº 54 e a distribuição Normal – Teste de Normalidade Kolmogorov-Smirnov. ....	120
Figura 30 – Gráfico dos resíduos <i>versus</i> os valores ajustado (A) e a ordem de ocorrência dos eventos utilizados (B) no modelo de regressão linear função nº 54.....	121
Figura 31 – Ajuste entre os resíduos e a distribuição Normal – Teste de Normalidade Kolmogorov-Smirnov. ....	122
Figura 32 – Gráfico dos resíduos <i>versus</i> os valores ajustado (A) e a ordem de ocorrência dos eventos utilizados (B) no modelo de regressão linear função nº 54 modificada .....	123
Figura 33 – Gráfico com a comparação da série de cotas máximas previstas pelos dois modelos (função nº 54 e nº 54 modificada) com a observada no município de Estrela, utilizada para ajuste da regressão.....	125
Figura 34 – Gráfico com a comparação dos resíduos obtidos na estimação das cotas de Estrela, pelos dois modelos (função nº 54 e nº 54 modificada) .....	125
Figura 35 – Detalhamento da atuação dos sistemas de tempo na região sul do País nos dias 13 e 14 de julho/2015. ....	127
Figura 36 – Distribuição pluviométrica, na bacia hidrográfica Taquari-Antas, ocorrida entre os dias 13 e 14 de julho/2015.....	128
Figura 37 – Gráfico da evolução das cotas do rio Taquari nas estações de Muçum, Encantado e Estrela; e da cota prevista para Estrela pelos modelos de regressão elaborados – evento de julho/2015 .....	131
Figura 38 – Gráfico da comparação da cota do rio Taquari em Estrela prevista pelo modelo de regressão elaborado no estudo e modelo da Univates com a cota real – evento de julho/2015.....	132
Figura 39 - Gráfico da evolução das cotas do rio Taquari nas estações de Muçum, Encantado e Estrela; e da cota prevista para Estrela pelos modelos de regressão elaborados – evento de outubro/2015 .....	135
Figura 40 - Gráfico da comparação da cota do rio Taquari em Estrela prevista pelo modelo de regressão elaborado no estudo e modelo da Univates com a cota real – evento de outubro/2015 .....	136
Figura 41 - Esquema detalhado do roteiro de execução do modelo de previsão da cota máxima de inundação em Estrela.....	178

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Densidade mínima recomendada pela WMO para rede de monitoramento .....	30
Tabela 2 – Equações para obtenção da probabilidade empírica de excedência.....	39
Tabela 3 – Evolução das equações do modelo cota-cota do SPAE, gerenciado pela Univates .....	51
Tabela 4 - Descrição dos parâmetros morfométricos aplicados à bacia hidrográfica Taquari-Antas e principais sub-bacias identificadas.....	57
Tabela 5 – Funções das distribuições probabilísticas aplicadas às séries de dados para estimar a recorrência das cotas .....	59
Tabela 6 – Características das regiões fisiográficas definidas para a bacia hidrográfica Taquari-Antas .....	71
Tabela 7 – Avaliação da rede de monitoramento da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas .....	72
Tabela 8 – Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica Taquari-Antas.....	78
Tabela 9 - Parâmetros morfométricos das principais sub-bacia da bacia hidrográfica Taquari-Antas.....	80
Tabela 10 – Resultados da estimativa do tempo de concentração das sub-bacias principais e estações com dados a montante de Estrela.....	85
Tabela 11 – Estatística descritiva das séries de cotas máximas anuais de Estrela e Encantado. ....	89
Tabela 12 – Resultados dos testes de aderência aplicados às distribuições probabilísticas selecionadas, para a série de cota máxima anual de Estrela .....	89
Tabela 13 – Estimativa da cota do rio Taquari em Estrela para diferentes tempos de retorno (TR), obtidas através da distribuição probabilística GEV .....	91
Tabela 14 - Resultados dos testes de aderência aplicados às distribuições probabilísticas selecionadas, para a série de cota máxima anual de Encantado .....	92
Tabela 15 - Estimativa da cota do rio Taquari em Encantado para diferentes tempos de retorno (TR), obtidas através da distribuição probabilística Pearson tipo III .....	94
Tabela 16 – Comparação da recorrência (TR) das cotas de inundação ocorrida nos dois municípios em um mesmo evento .....	95
Tabela 17 – Ranking das dez maiores inundações que ocorreram no município de Encantado e Estrela, incluindo dados históricos, com referência ao período de 1941 a 2012 .....	97
Tabela 18 – Séries de cotas dos municípios a montante de Estrela, referentes aos eventos acima da cota de 19 m ocorridos desde 1980 no referido município .....	99
Tabela 19 - Séries de precipitação média acumulada em dias anteriores à ocorrência dos eventos, na sub-bacia de Estrela.....	101
Tabela 20 – Estatística descritiva das séries de cotas utilizadas no modelo de regressão .....	103

Tabela 21 – Estatística descritiva das séries de precipitação média acumulada na sub-bacia utilizada na regressão .....	103
Tabela 22 – Correlação de Pearson (R) entre a série de cota máxima de Estrela e as outras séries de dados hidrológicos.....	104
Tabela 23 - Correlação de Pearson (R) entre a série de cota máxima de Encantado e as outras séries de dados hidrológicos.....	105
Tabela 24 – Tabela geral dos testes de modelos de regressão linear.....	109
Tabela 25 – Intervalos de confiança para os coeficientes da regressão linear múltipla do modelo da função nº 54 .....	117
Tabela 26 – Matriz de correlação das séries de cotas máximas utilizadas no modelo de regressão função nº 54 .....	118
Tabela 27 – Resultados do teste de homoscedasticidade– Teste de Breusch-Pagan e de independência - Teste de Durbin-Watson aplicado aos resíduos da função nº 54.....	120
Tabela 28 – Matriz de correlação das séries de cotas máximas utilizadas no modelo de regressão função nº 54 modificada.....	123
Tabela 29 – Resultados do teste de homoscedasticidade– Teste de Breusch-Pagan e de independência - Teste de Durbin-Watson aplicado aos resíduos da função nº 54.....	123
Tabela 30 – Intervalos de confiança para os coeficientes da regressão linear múltipla do modelo da função nº 54 modificada.....	124
Tabela 31 – Aplicação do modelo de previsão elaborado para as cotas máximas diárias do evento de julho/2015 .....	129
Tabela 32 – Aplicação dos modelos de previsão elaborados aos dados horários do evento de julho/2015.....	130
Tabela 33 – Aplicação dos modelos de previsão elaborados aos dados horários do evento de outubro/2015 .....	133

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AD	Teste de Aderência Anderson Darling
ANA	Agência Nacional de Águas
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CIH	Centro de Informações Hidrometeorológicas do Centro Universitário UNIVATES
cm	Centímetros
cm <sup>2</sup>	Centímetros quadrados
CPRM	Companhia de Pesquisas em Recursos Minerais
Dd	Densidade de Drenagem
EP	Erro Padrão
EQM	Erro Quadrático Médio
ES	Estado do Espírito Santo
EUA	Estados Unidos da América
GEV	Distribuição Probabilística Generalizada de Valores Extremos
h	Horas
H <sub>0</sub>	Hipótese Nula
hab.	Habitantes
Hidroweb	Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional das Águas
Ic	Índice de Circularidade
IPH-UFRGS	Instituto de Pesquisas Hidráulicas / Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Kc	Índice de Compacidade
Kf	Índice de Conformação
Km	Quilômetros
Km <sup>2</sup>	Quilômetros Quadrados
KS	Teste de Aderência Kolmogorov-Smirnov
m	Metros
MG	Estado de Minas Gerais
MGB-IPH	Modelo Hidrológico de Grandes Bacias - Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS
min	Minutos
mm	Milímetros
PNPDEC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
R	Coefficiente de Correlação de Pearson
R <sup>2</sup>	Coefficiente de Determinação
RNA	Redes Neurais Artificiais
RS	Estado do Rio Grande do Sul
SPAE	Sistema de Previsão e Alerta de Enchentes do Vale do Taquari / UNIVATES
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
Univates	Centro universitário UNIVATES
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>
x <sup>2</sup>	Teste de aderência Qui-quadrado





## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>19</b>
2.1. <b>Objetivo Geral</b> .....	<b>19</b>
2.2. <b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>19</b>
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>21</b>
3.1. <b>Inundações ribeirinhas</b> .....	<b>21</b>
3.1.1. <b>Problemática das inundações</b> .....	<b>23</b>
3.2. <b>Sistemas de previsão e alerta de inundação</b> .....	<b>25</b>
3.2.1. <b>Exemplos de sistemas de previsão e alerta</b> .....	<b>28</b>
3.3. <b>Requisitos mínimos para as redes de monitoramento em sistemas de previsão</b> .....	<b>29</b>
3.4. <b>Modelos de previsão de Inundações em tempo real</b> .....	<b>31</b>
3.5. <b>Caracterização do comportamento hidrológico como subsídios para a previsão de inundações</b> .....	<b>36</b>
3.5.1. <b>Mecanismos de formação de cheias</b> .....	<b>36</b>
3.5.2. <b>Análise probabilística de eventos extremos máximos</b> .....	<b>39</b>
<b>4. ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>43</b>
4.1. <b>Caracterização da bacia hidrográfica Taquari-Antas</b> .....	<b>43</b>
4.2. <b>Caracterização do Vale do Taquari</b> .....	<b>45</b>
4.2.1. <b>Comportamento climático</b> .....	<b>46</b>
4.2.2. <b>Considerações sobre as inundações na região</b> .....	<b>48</b>
4.2.3. <b>Estudos relacionados a previsão de inundação na região</b> .....	<b>49</b>
<b>5. METODOLOGIA</b> .....	<b>53</b>
5.1. <b>Procedimentos iniciais</b> .....	<b>53</b>
5.1.1. <b>Levantamento dos dados hidrológicos disponíveis da bacia hidrográfica</b> ... 53	
5.1.2. <b>Concepção do banco de dados espaciais</b> .....	<b>54</b>
5.2. <b>Avaliação da rede de monitoramento hidrológica</b> .....	<b>55</b>
5.3. <b>Análise do comportamento hidrológico da bacia hidrográfica</b> .....	<b>56</b>
5.3.1. <b>Caracterização morfométrica</b> .....	<b>56</b>
5.3.2. <b>Determinação do tempo de concentração</b> .....	<b>57</b>
5.3.3. <b>Determinação das cotas máximas do rio Taquari para diferentes tempos de retorno</b> .....	<b>58</b>
5.4. <b>Elaboração do modelo de previsão das inundações em Estrela</b> .....	<b>60</b>
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>65</b>
6.1. <b>Coleta e tratamento dos dados hidrológicos</b> .....	<b>65</b>
6.2. <b>Rede de monitoramento hidrológico da bacia hidrográfica Taquari-Antas</b> 69	
6.2.1. <b>Considerações finais do item</b> .....	<b>77</b>
6.3. <b>Comportamento hidrológico da bacia hidrográfica Taquari-Antas</b> .....	<b>78</b>
6.3.1. <b>Avaliação morfométrica</b> .....	<b>78</b>
6.3.2. <b>Análise do tempo de concentração</b> .....	<b>83</b>

6.3.3.	Recorrência das cotas do rio Taquari em Estrela e Encantado.....	86
6.3.4.	Considerações finais do item.....	98
<b>6.4.</b>	<b>Modelo de previsão.....</b>	<b>99</b>
6.4.1.	Séries de dados hidrológicos utilizadas.....	99
6.4.2.	Correlação entre as séries de dados hidrológicos.....	104
6.4.3.	Ajuste do modelo de regressão linear .....	107
6.4.4.	Modelo de regressão linear: função nº 54 aditiva.....	118
6.4.5.	Modelo de regressão linear: função nº 54 aditiva modificada.....	121
6.4.6.	Exemplos de aplicação dos modelos de previsão elaborados .....	126
6.4.6.1.	Evento ocorrido em julho/2015 .....	127
6.4.6.2.	Evento ocorrido em outubro/2015.....	133
6.4.7.	Considerações finais do item.....	137
<b>7.</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>139</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>141</b>
	<b>APÊNDICE A – QUADRO DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS CADASTRADAS NO SISTEMA HIDROWEB DA ANA COM INFORMAÇÕES DA DISPONIBILIDADE DE DADOS E UTILIZAÇÃO NO ESTUDO.....</b>	<b>152</b>
	<b>APÊNDICE B – QUADRO DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS CADASTRADAS NO SISTEMA HIDROWEB DA ANA COM INFORMAÇÕES DA DISPONIBILIDADE DE DADOS E UTILIZAÇÃO NO ESTUDO.....</b>	<b>167</b>
	<b>APÊNDICE C – ROTEIRO DE OPERACIONALIZAÇÃO DO MODELO DE PREVISÃO ELABORADO.....</b>	<b>177</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As inundações ribeirinhas são fenômenos naturais dos regimes dos rios, essenciais para a manutenção dos ambientes marginais, e consistem no estágio avançado das cheias, pelo extravasamento das águas do canal principal. Os impactos e prejuízos associados a estes fenômenos estão relacionados à presença do ser humano nas planícies de inundações. Estes podem ser significativos, atingindo um número considerável da população, refletindo na área social, econômica e ambiental.

A forma de evolução dos municípios brasileiros, sobretudo os situados próximos a grandes rios, agravou os impactos associados à ocorrência de inundações ribeirinhas, em função da elevada ocupação das áreas suscetíveis. É evidente o aumento do número de pessoas atingidas pelas inundações em nível mundial e nacional (conforme dados do UFSC-CEPED (2012) e EM-DAT (2014)).

As soluções aplicadas a estas ocorrências envolvem medidas preventivas e/ou amenizadoras, que buscam uma melhor convivência da população com as inundações. Neste âmbito, inserem-se os modelos de previsão de cheias e, conseqüentemente, inundações, que estão diretamente relacionados aos sistemas de alertas. Estes auxiliam na redução dos impactos causados nas áreas ribeirinhas, uma vez que permitem estimar a cota ou vazão provável de alcance e alertar a população, com determinada antecedência.

Diversos tipos de modelos hidrológicos podem ser aplicados para estas estimativas, em função dos objetivos, antecedência desejada e dados hidrológicos disponíveis. Estes, por meio de equações matemáticas (sem ou com base física), buscam representar todos os processos envolvidos na bacia hidrográfica, podendo ter uma estrutura simples ou complexa (respectivamente), em função da quantidade de dados de entrada utilizados e à abstração dos processos envolvidos. Ainda, os modelos podem concentrar-se na transformação de precipitação em vazão (cota) ou na relação de vazões (cotas) a montante (TUCCI, 2005).

Diante desta gama de opções, a escolha do melhor modelo hidrológico leva em conta os custos envolvidos para sua utilização. Uma vez que, quanto maior a quantidade de dados envolvidos e complexidade, o modelo torna-se mais oneroso, pois necessita de uma rede de monitoramento hidrometeorológico em ótimo funcionamento e profissionais com conhecimento hidrológico.

É neste sentido que as previsões realizadas através de modelos hidrológicos elaborados com menor complexidade, utilizando um menor número de variáveis envolvidas e uma elevada abstração da realidade, resultam em um menor custo de utilização. Destaca-se que este tipo de modelagem pode, também, conferir resultados satisfatórios, e, até mesmo, em alguns casos mais precisos. Aqui se enquadra o princípio da parcimônia, destacado por Tucci et al. (2009).

Cabe ressaltar que a facilidade de seu manuseio durante aplicação permite uma maior proximidade da população. Tal aspecto está sendo cada vez mais enfatizado, pois a população quanto mais inserida na situação/problema, mais poderá auxiliar na funcionalidade e eficácia do sistema. Sua contribuição poderá ocorrer desde o monitoramento das variáveis cota e precipitação até a aceitação dos procedimentos emergenciais.

Nesse sentido, Cheng et al. (2004) destacam o uso da web como uma ótima ferramenta para um processo colaborativo de previsão. Isto é evidenciado, também, no Sistema de Monitoramento e Alerta de Eventos Extremos de Blumenau, denominado AlertaBLU, através da criação de um aplicativo para celular com informações e serviços para a população, como acompanhamento do nível do rio principal (BLUMENAU, 2016).

Sob este contexto, a Associação Internacional de Ciência Hidrológica (IAHS - *International Association of Hydrological Sciences*), com a missão de contribuir com o avanço da ciência hidrológica para o benefício da sociedade, propôs que a Década 2013-2022 se concentre em pesquisas com foco na integração de Mudanças na Hidrologia e Sociedade. O título dado a este período é “Panta Rhei”, que literalmente significa tudo flui, significando que todas as coisas, inclusive a água, estão em constante mudança (MONTANARI et al, 2013).

A região do Vale do Taquari, localizada na porção inferior da bacia hidrográfica Taquari-Antas, no estado do Rio Grande do Sul (RS)/Brasil, tem uma problemática histórica com as inundações ribeirinhas do rio Taquari que refletem em inúmeros impactos, principalmente nos municípios de Muçum, Encantado, Lajeado e Estrela. Levantamentos, realizados através dos dados da Defesa Civil sob os registros de declaração de desastres, apontaram que o município de Estrela é o mais atingido por desastres naturais decorrente de inundações no Estado (UFSC-CEPED, 2013). Reckziegel (2007) e Bombassaro e Robaina (2010), também, corroboram com estes achados.

Por tais evidências atrelada à importância econômica, esta região vem sendo muito estudada a cerca desta temática. Um sistema de previsão e alerta de inundações já esteve em operação, sendo gerenciado pelo Centro Universitário UNIVATES, entre os anos de 2003 e 2007. Neste a cota de cheia/inundação era estimada com base em modelo de cota a montante e cota a jusante. Embora simples e de baixo custo, proporcionou resultados satisfatórios.

Atualmente, novas ações estão sendo desenvolvidas para retomar as atividades de previsão no Vale do Taquari, por esta e demais instituições de ensino e pesquisa, a exemplo do Instituto de Pesquisas Hidráulicas/Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH-UFRGS) e Companhia de Pesquisas em Recursos Minerais (CPRM). Estas últimas pretendem desenvolver modelos de previsão mais elaborados para a região. Nesse sentido, já foi instalada uma nova rede de monitoramento pluviométrico e fluviométrico na bacia hidrográfica, sobretudo a montante da cidade de Estrela, pela Univates e CPRM, com disponibilidade instantânea na internet.

Com o intuito de contribuir para uma melhor realização das previsões, apoiando o desenvolvimento social sustentável, insere-se a presente pesquisa. Esta se concentrou em estudar o mecanismo da formação das cheias e inundações na região; trabalhar estatisticamente os dados do monitoramento hidrológico; e desenvolver um modelo matemático de simples operação para uso na previsão de inundações em tempo real na região do Vale do Taquari.

Desta forma a pesquisa auxiliará no aperfeiçoamento da modelagem de baixo custo, de simples relação cota x cota já desenvolvido e aplicado pela Univates, devido aos métodos matemáticos a serem aplicados. Bem como, permitirá que o poder público e a sociedade civil tenham disponível essa ferramenta para tomar decisões em situações adversas.



## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GERAL

Identificar as variáveis hidrológicas fundamentais na formação de inundações e desenvolver um modelo de previsão das inundações em tempo real e com simples operacionalização para a região do Vale do Taquari, Rio Grande do Sul (RS).

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a qualidade da rede de monitoramento hidrometeorológica disponível na bacia hidrográfica Taquari-Antas/RS, com base nas recomendações da Organização Mundial de Meteorologia;
- Estudar o comportamento hidrológico da bacia hidrográfica Taquari-Antas, com vistas ao entendimento do mecanismo de formação de cheias no Vale do Taquari;
- Avaliar a recorrência das cotas máximas do rio Taquari, na região do Vale do Taquari;
- Desenvolver e aplicar um modelo simplificado de previsão de inundações em tempo real, baseado na relação com as variáveis explicativas (hidrometeorológicas, fisiográficas, entre outras) para o município de Estrela.





### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. INUNDAÇÕES RIBEIRINHAS

Tendo em vista o tema abordado, torna-se necessário realizar uma conceituação dos termos referente ao aumento do nível dos rios (vazão). Neste sentido, é frequentemente verificada a citação dos seguintes termos: cheia, enchente e inundação.

Os termos enchente e cheia são sinônimos e definem o estágio em que o nível do rio eleva-se temporariamente dentro do leito menor (principal), atingindo as suas margens sem extravasar. O termo inundação refere-se ao estágio de aumento da vazão que ocasiona o transbordamento das águas para as áreas marginais, também conhecido como inundação ribeirinha. Portanto, uma enchente pode ou não causar inundação (Figura 1) (LANGBEIN; ISERI, 1960; VILLELA; MATTOS, 1975; GOERL; KOBAYAMA, 2005; SANTOS, 2007).

Figura 1 – Representação do processo de enchente/cheia e inundação



Fonte: (BRASIL, 2007).

Embora existam as diferenciações, percebe-se que em muitos estudos as mesmas não são aplicadas, tratando-se os três termos de forma igualitária. No entanto, neste estudo será utilizada a terminologia “inundação” para expressar o estágio em que o nível do rio atinge a planície de inundação.

As condições hidrometeorológicas, com contribuição das condicionantes geomorfológicas (naturais – características fisiográficas, ou artificiais – alterações

antrópicas), conduzem ao processo de inundação (TACHINI, 2009), principalmente em razão de eventos de chuvas intensas, que são parte do ciclo hidrológico, imprescindível para a sobrevivência dos seres vivos, e fazem parte da geodinâmica terrestre (MARCELINO, 2008).

Portanto, as variações dos níveis dos rios são processos naturais, e ocorrem com certa periodicidade. Registros históricos permitem identificar a ocorrência de inundações em praticamente todos os países desde os primórdios (LEOPOLD, 2005).

Quanto à magnitude e frequência das inundações, a variabilidade do regime e a intensidade das chuvas são os fatores mais influentes. Entretanto, contribuem para este processo, também, a fisiografia da bacia hidrográfica, taxa de infiltração e grau de saturação do solo da região (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009). Com relação às últimas condicionantes, estas podem influenciar com maior/menor significância na ocorrência de inundações por precipitações com volumes menores (TACHINI, 2009).

É importante destacar que as inundações são um processo dinâmico, assim, ao longo do rio podem haver trechos com características de enchentes, e outros de inundação. As inundações possuem características específicas, que podem (ou não) ocasionar impactos à população ribeirinha ao longo do trecho (BRASIL, 2007).

Encontram-se na literatura algumas classificações das inundações, relacionadas à velocidade de ocorrência do processo de transbordamento das águas, conforme enfatizado por Goerl e Kobiyama (2005). Nesse sentido, há separação em inundações graduais (elevação e transbordamento lentos) e bruscas, também denominadas de enxurradas (subida repentina).

A Defesa Civil do Brasil adota esta classificação (CASTRO; MOURA; CALHEIROS, 2009) e, ainda, salienta que as inundações graduais são características de grandes bacias hidrográficas e dos rios de planície, relacionadas às chuvas frontais, enquanto, as inundações bruscas são típicas de relevos acidentados e bacias de média e pequena extensão, oriundas de chuvas intensas e concentradas.

A previsão das inundações graduais é, relativamente, mais fácil do que das bruscas, em virtude do tempo de elevação do nível do rio, podendo ocorrer relações dos níveis de áreas a montante com as de jusante.

### 3.1.1. Problemática das inundações

Tendo em vista o exposto, percebe-se que as inundações ribeirinhas por si só não apresentam risco à população, desde que ela não ocupe as planícies de inundação. Leopold (2005) ressalta que, em média, 5% da vazão que ocorre ao longo do ano nas bacias hidrográficas atinge taxas superiores à capacidade do canal principal, espalhando-se para as planícies. É nestas situações que a população ribeirinha se expõe aos eventos críticos.

Historicamente, o ser humano sempre buscou se estabelecer próximo aos recursos hídricos para sua sobrevivência, o que é verificado pela localização das cidades atuais (MARCELINO, 2008). Mas, o processo de urbanização desenfreado, com planejamento ineficiente/ou inexistente, refletiu, principalmente, na ocupação de áreas vulneráveis à ocorrência destes fenômenos. Tucci (2007) enfatiza esta situação do crescimento urbano de forma insustentável nos países em desenvolvimento, com foco nos impactos como: grande concentração de pessoas em pequenas áreas, aumento da periferia, ocupação das áreas de risco.

Neste contexto, cita-se a ocupação das planícies de inundação que, na maioria, ocorre pela população de menor poder aquisitivo. Além disso, o fato de as inundações ocorrerem espaçadas no tempo proporciona um grau de “segurança” à população para ocupação destas áreas inundáveis (quando estas ficam expostas).

Atualmente, os efeitos das inundações nas áreas habitadas refletem em impactos à infraestrutura, saúde pública (saneamento), meio ambiente e vida humana, ocasionando prejuízos de ordem econômica, social e ambiental. A percepção atual sobre as inundações contrasta com aquela do passado, quando as inundações eram consideradas muito benéficas, por contribuírem com a fertilidade das várzeas (SANTOS, 2007).

Desta forma, as inundações ocasionam desastres naturais quando ocorrem em áreas suscetíveis e habitadas. O termo desastres naturais é definido, em nível nacional e internacional (CASTRO; MOURA; CALHEIROS, 2009; GUHA-SPAIR; HOYOIS; BELOW, 2013), como a ocorrência de situações desencadeadas por fenômenos naturais extremos que superam a capacidade suporte natural do local, provocando grandes danos humanos, materiais e/ou ambientais.

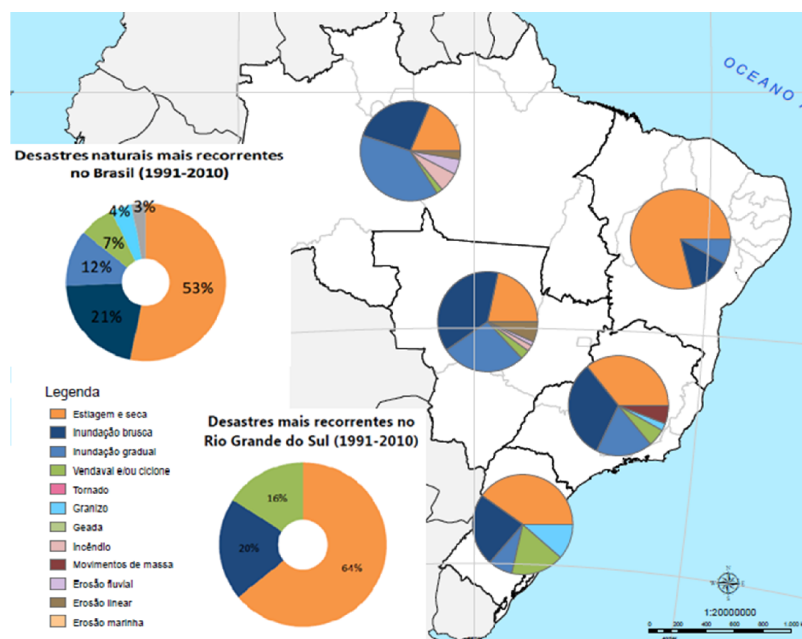
Segundo o banco de dados do EM-DAT (2014), que compila informações sobre a ocorrência de desastres no mundo, na América do Sul o tipo de desastre

que teve maior número de ocorrência no período 1991-2012 foi as inundações. O EM-DAT (*International Disaster Database*) classifica os desastres em subgrupos, conforme a origem: biológico, climatológico, geofísico, hidrológico e meteorológico. As inundações estão enquadradas no subgrupo hidrológico, juntamente com o deslocamento de massa (GUHA-SPAIR; HOYOIS; BELOW, 2013).

No Brasil, segundo os dados do Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (USFC-CEPED, 2011; USFC-CEPED, 2012), no período de 1991 a 2010, os desastres mais recorrentes foram a estiagem e a seca (53 %), seguido das inundações (33 %). Na região sul, com destaque ao RS (Figura 2), verificou-se o mesmo padrão quanto aos principais tipos de desastres recorrentes.

Em relação à quantidade de pessoas afetadas por estes eventos no País, considerando o mesmo período de análise, do total de 96.220.679 hab., as inundações implicaram em 38.671.171 hab., atingindo um percentual de 40,19 %. Foram nas regiões sudeste, sul e nordeste que se verificaram, respectivamente, os maiores números de pessoas afetadas por desastres entre 1991 e 2010 (UFSC-CEPED, 2012).

Figura 2 - Porcentagem de ocorrência de desastres naturais por regiões do Brasil (1991-2012)



Fonte: Adaptado de UFSC-CEPED (2011) e UFSC-CEPED (2012).

A partir deste panorama, percebe-se que as inundações afetam uma quantidade considerável da população no Brasil e possuem elevado número de ocorrência. No RS é um dos desastres naturais com maior número de recorrência, por ser um estado destacado pela frequência e variedade da atuação de eventos adversos, sendo já registrados, até mesmo, eventos atípicos, como furacão (BRASIL, 2012a).

### 3.2. SISTEMAS DE PREVISÃO E ALERTA DE INUNDAÇÃO

As medidas de controle das inundações devem ser baseadas no estabelecimento de uma melhor convivência do ser humano com estes eventos. Estas medidas têm como objetivo reduzir os danos causados nas áreas urbanas e à população atingida.

Dentre as medidas existentes, e usualmente aplicadas em regiões com esta problemática, tem-se uma subdivisão em função de sua natureza, sendo denominadas de medidas estruturais e não estruturais. A primeira refere-se as medidas de cunho estrutural, normalmente concebidas com a introdução de obras hidráulicas, como construção de diques, bacias de contenção, que causam ou não modificações no rio (TUCCI et al., 2009).

A segunda medida consiste em ações que buscam reduzir as consequências das inundações, por meio da implantação de normas, regulamentações e programas. Portanto, são medidas preventivas e, geralmente, são eficazes, tendo custos mais baixos para implantação e um horizonte de atuação longo (CANHOLI, 2005). Neste sentido, inclui-se a implantação de sistemas de previsão e alerta de inundações.

Os sistemas de previsão e alerta possuem uma estrutura elaborada para reduzir os riscos à vida, por isso muitos países, atualmente, operam algum tipo de sistema. Estes incluem em sua estrutura sistemas de detecção da chuva, modelos de previsão de inundação dos rios, sistemas de difusão do alerta e procedimentos de emergência (SENE, 2008).

O objetivo dos sistemas de previsão de inundação é evitar o fator surpresa à população, o que possibilita e facilita a realização de ações preventivas, como o isolamento e retirada de pessoas de áreas sujeitas às inundações, cuja atividade possui estreita relação com a Defesa Civil (TUCCI, 2007).

Sene (2008) descreve minuciosamente cada seguimento dos sistemas de previsão e alerta. Os avisos de inundação podem ser realizados com base na observação de variáveis meteorológicas e condições dos rios a montante, porém, às vezes, em função da evolução da inundação em curto tempo, torna-se difícil a realização da mesma com uma antecipação adequada.

Assim, os modelos de previsão de inundações podem auxiliar no aumento do horizonte de previsão e, conseqüentemente, de alerta. Estes, normalmente, baseiam-se em observações do nível dos rios e da precipitação na área da bacia de drenagem, mas as informações do volume previsto de precipitações, a partir de modelos atmosféricos, podem ser utilizadas para ampliar ainda mais o horizonte da previsão.

Um sistema de previsão deve conter uma rede de monitoramento das precipitações e dos níveis dos rios, com coleta das informações em vários pontos da bacia hidrográfica. Essas observações auxiliam na realização de modelagens matemáticas com vistas à previsão dos níveis de inundação e os locais que podem ser atingidos (SANTOS et al., 2001; FRANK; PINHEIRO, 2003).

Conclui-se, então, que para o estabelecimento de um sistema com este propósito é necessário ter o monitoramento em tempo real das variáveis hidrológica em diversos pontos, e um modelo de previsão. Apesar da carência de dados hidrológicos em grande parte do país e das limitações existentes, os sistemas de previsão e alerta ainda são medidas não estruturais que trazem muitos benefícios à população.

Em função do panorama já apresentado sobre a ocorrência e impactos dos desastres naturais no Brasil, em 2011 foi criado o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), para suporte ao Sistema Nacional de Monitoramento de Alertas de Desastres Naturais; sendo vinculado ao Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação. Este tem como objetivo desenvolver, testar e implementar um sistema de previsão de ocorrência de desastres naturais em áreas suscetíveis de todo o Brasil, tendo como estratégia o estabelecimento de parcerias com instituições estaduais e federais (CEMADEN, 2015).

O CEMADEN conta com uma rede de observação composta por radares, pluviômetros automáticos e semiautomáticos e estações hidrológicas, entre outros equipamentos (BRASIL, 2015); monitorando atualmente 888 municípios, 24 h por dia, sendo 39 do estado do RS. Constatada a necessidade, emite alerta para o

Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD) (CEMADEN, 2015).

No ano de 2012 passou a vigorar a Lei nº 12.608 (BRASIL, 2012b), a qual institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) e dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC), autorizando a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres mais localizados.

Esta lei veio a suprir a lacuna existente, incentivando a adoção de medidas para à redução dos riscos de desastres. Conforme o Art. 3º “A PNPDEC abrange as ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação voltadas à proteção e defesa civil” e “deve integrar as políticas de ordenamento territorial, desenvolvimento urbano, meio ambiente, gestão de recursos hídricos [...] tendo em vista a promoção do desenvolvimento sustentável”.

São incentivadas e designadas ações aos estados e municípios, tendo em vista o mapeamento das áreas vulneráveis e implantação de redes de monitoramento meteorológico, hidrológico e geológico e sistemas de alertas:

Fica autorizada a criação de sistema de informações de monitoramento de desastres, em ambiente informatizado [...] visando ao oferecimento de informações atualizadas para prevenção, mitigação, alerta, resposta e recuperação em situações de desastre em todo o território nacional (BRASIL, 2012b, art. 13).

Isto “motivou” a ampliação de ações com estes objetivos, o que inclui o desenvolvimento de sistemas de previsão e alerta e redes de monitoramento, voltadas às inundações. No RS, atendendo às exigências, está sendo criado o Sistema de Monitoramento e Alerta de Desastres (SMAD), cujo projeto consiste na implantação de monitoramento e alerta de desastres para a Defesa Civil e órgãos competentes na gestão de risco, e à gestão ambiental dos recursos naturais. Este sistema visa orientar sobre os eventos críticos, como inundações e estiagens.

Como primeiro passo para tal, o Departamento de Recursos Hídricos (DRH), da Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul (SEMA), estabeleceu a criação de uma sala de situação, que monitora e analisa os recursos hídricos. Esta pretende disponibilizar diversas informações, destacando-se: boletins sobre as situações dos principais rios e bacias hidrográficas (cotas); previsão de precipitação; e dados diretos das estações de monitoramento (cotas e precipitação) (SMAD, 2014).

### 3.2.1. Exemplos de sistemas de previsão e alerta

Os sistemas de previsão e alerta de inundações podem ser implantados em nível local, regional ou nacional. De forma nacional, todas as informações, quanto ao monitoramento hidrológico e previsão, devem estar interligadas. Com este caráter de operação, podem ser citados os sistemas dos Estados Unidos da América (EUA) e da Índia.

Nos EUA, o *Advanced Hydrologic Prediction Service* (AHPS) gerencia um conjunto de produtos sobre previsão para o país, que exibem a magnitude e a incerteza de ocorrência de enchentes ou secas com antecedência de horas, dias e meses. Este serviço disponibiliza as informações da extensa rede de monitoramento e das previsões em forma de mapas, servindo com o uma ótima ferramenta para os gestores. A previsão é realizada por modelos hidrológicos, e abrange quase 4.000 locais, a partir da compilação de uma ampla variedade de dados, tais como estações de observações, satélites geoestacionários (APHS, 2014), entre outros.

Na Índia, o *Central Water Commission* (CWC) opera a ampla rede de monitoramento hidrológico do país e realiza previsões inundações para quase todas as bacias hidrográficas propensas a estes fenômenos. Esta instituição também disponibiliza as informações da rede de monitoramento em mapas, enquanto as previsões são apresentadas em boletins com 12 a 48 horas de antecedência, intensificados nos períodos dos eventos críticos (CWC, 2014).

No contexto brasileiro, um sistema semelhante é inexistente. Quanto à rede de monitoramento hidrológico do país, as informações são gerenciadas pela Agência Nacional de Águas (ANA), e disponibilizadas de forma *online* pelo Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb ou SNIRH). Em relação a sistemas de previsão e alerta, ações de forma isolada vêm ocorrendo, em nível regional e local.

Citam-se alguns sistemas de alerta e prevenção de inundações em operação no Brasil, classificando-os por estado: Minas Gerais e Belo Horizonte: Sistema de Alerta da Bacia Rio Doce (CASTILHO, 2002); Rio de Janeiro: Sistema de Alerta de Cheias das estações monitoradas no Rio de Janeiro, sobretudo bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul (INEA, 2014); São Paulo: Sistema de Alerta às Inundações de São Paulo - SAISP (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009); Santa Catarina: Sistema de Alerta de Cheias da Bacia do Itajaí (FRANK; PINHEIRO, 2003).



Todos estes possuem uma rede de monitoramento e, a partir dos dados observados, realizam previsões aplicando modelos hidrológicos, com inclusão da previsão da chuva, disponibilizando as informações de forma online a partir de mapas, tabelas e boletins informativos.

### 3.3. REQUISITOS MÍNIMOS PARA AS REDES DE MONITORAMENTO EM SISTEMAS DE PREVISÃO

Com enfoque na rede de monitoramento de variáveis hidrológicas, cabe citar a existência de dois tipos de estações de monitoramento: convencional sem transmissão e com telemetria. A primeira consiste em estações com monitoramento das variáveis de forma manual ou automática sem a transmissão dos dados, como para a precipitação e cota utilizam pluviômetros/pluviógrafos e régua limimétrica/linígrafos, respectivamente, em que os dados são coletados e posteriormente é feito o tratamento de um conjunto deles. Enquanto a segunda, possui o monitoramento automatizado destas variáveis com transmissão em tempo real dos dados coletados, através de pluviógrafos ou radares e linígrafos para as variáveis citadas, respectivamente. Desta forma, as estações telemétricas resultam na disponibilidade de informações em escala de tempo inferior (SANTOS et al., 2001).

No entanto, se tratando do uso destas informações para sistemas de alerta de inundações, torna-se relevante a existência conjunta desses tipos de estações de monitoramento hidrológico, pois, em situações de eventos adversos pode haver a falta de energia, o que implica na coleta e transmissão automática dos dados; assim, a estação convencional supre de informações o sistema de previsão durante este período.

Quanto à implantação de redes de monitoramento de variáveis hidrológicas, a WMO (1994) dispõe sobre os procedimentos para a implantação de redes básicas. Estas redes devem fornecer informações suficientes para a tomada de decisão sobre os recursos hídricos.

Santos et al. (2001) destacam que em função das características fisiográficas das bacias, e das informações necessárias por modelos matemáticos, um projeto ou aperfeiçoamento de uma rede de monitoramento deve ser fundamentado não só em questões econômicas, mas, principalmente, nas características físicas da região de

interesse. Isto porque deve fornecer dados suficientes para a realização de interpolações entre as séries de várias estações.

Com relação a densidade mínima das redes de monitoramento pluviométricas e fluviométricas, para compor uma rede de monitoramento, a WMO (1994) estabelece a quantidade necessária em função das características fisiográficas e da área da região, para cada tipo de estação de monitoramento. A Tabela 1 apresenta estes requisitos. O monitoramento dos níveis dos rios deve ser realizado em todas as estações de medição da vazão.

Tendo em vista o objetivo de uma rede para auxílio a sistemas de previsão e alerta de inundações, esta deve estar baseada numa combinação do monitoramento da precipitação e nível dos rios, com informações em tempo real (ou quase real), conforme a publicação da WMO (2011).

Tabela 1 – Densidade mínima recomendada pela WMO para rede de monitoramento

<b>Condição fisiográfica</b>	<b>Densidade mínima (km<sup>2</sup>/estação)</b>		
	Estação pluviométrica		Estação de fluviométricas (vazão)
	Pluviométricas*	Pluviográficas**	
Zonas costeiras	900	9 000	2 750
Zonas montanhosas	250	2 500	1 000
Planícies fluviais	575	5 750	1 875
Zonas íngremes	575	5 750	1 875
Pequenas ilhas	25	250	300
Áreas urbanas		10 a 20	
Zonas polares e áridas	10 000	100 000	20 000

\* registro manual (diário) \*\*registro automático (contínuo)

Fonte: (WMO, 1994).

A rede deve possibilitar o acompanhamento detalhado da propagação das cheias/inundações (montante a jusante) e fornecer tempo suficiente para a aplicação de modelos de previsão. Assim, as estações pluviométricas devem estar localizadas distantes dos locais inundados, nas cabeceiras das bacias. Os pontos de monitoramento devem estar localizados em regiões que, também, possibilite identificar as condições das bacias contribuintes (WMO, 2011).

### 3.4. MODELOS DE PREVISÃO DE INUNDAÇÕES EM TEMPO REAL

As previsões hidrológicas em tempo real são estimativas das condições de alguma(s) variável(is) em um determinado local, como vazão ou nível, para um dado instante de tempo no futuro, com base em pressupostos específicos (CHATFIELD, 1996; WMO, 2011; MAIDMENT, 1992). Desta maneira, pode-se acompanhar e projetar a evolução da onda da cheia nas áreas sujeitas às inundações (FRANK; PINHEIRO, 2003), sendo utilizada como alerta hidrológico em áreas ribeirinhas.

O horizonte de previsão é definido como o período entre o momento da realização da previsão e o momento futuro no qual se aplica a previsão (WMO, 2011). Uma previsão pode ser de curto, médio ou longo prazo, em função da antecedência da mesma. Objetivando o uso para controle de inundações, tem melhor aplicabilidade a previsão de curto prazo, com antecedência de poucas horas até cerca de 14 dias (TUCCI, 2005).

Resumidamente, a previsão de variáveis hidrológicas (ex.: vazão) trata da estimativa desta com antecedência no tempo. Outro termo, também, aplicado neste contexto é a predição. Contudo, este consiste na estimativa da variável com base em dados históricos, sem, praticamente, antecedência no tempo (MAIER; DANDY, 2000; WMO, 2011). Na literatura muitas vezes esta distinção não é levada em consideração e, algumas vezes, há interpretação equivocada dos conceitos.

A previsão de cota, ou vazão, em tempo real ocorre por meio da aplicação de modelos hidrológicos, os quais buscam representar de forma simplificada um sistema, tendo em vista simular seu comportamento em situações diferentes, ou próximas, das observadas. A bacia hidrográfica pode ser entendida como um sistema natural complexo, que reponde a uma entrada, causa ou estímulo, por meio de uma saída, efeito ou reposta ao anterior (TUCCI, 2005).

Enfatiza-se que os processos físicos envolvidos na dinâmica do ciclo hidrológico, dependem de muitos fatores naturais, o que implica na dificuldade de representação destes nos modelos. É notória esta limitação, por exemplo, para estabelecer uma função matemática que melhor encene a variabilidade espacial das variáveis e fenômenos hidrológicos, como vazão e precipitação.

Além disso, a previsão pode ser realizada de forma contínua ou eventual. Esta última refere-se à previsão realizada em épocas específicas do regime

hidrológico, como de inundações, quando o nível dos rios se aproxima de um valor crítico; aplicável a regiões com o período da estação chuvosa bem definido.

Tucci (2005) apresenta diversas classificações inferidas aos modelos que representam variáveis hidrológicas, sendo funções de algumas características como:

- a. variáveis utilizadas: estocásticos – variáveis de entrada e saída são aleatórias - ou determinísticos – uma entrada produz sempre a mesma saída;
- b. tipo de relação entre as variáveis: empíricos – ajuste sem relação com os processos físicos que desencadeiam a variável - ou conceituais – considera a física do sistema;
- c. forma de representação dos dados: discretos – registros em intervalos de tempo - ou contínuos – dados contínuos no tempo;
- d. concentração espacial: concentrados - não considera variabilidade espacial das variáveis - ou distribuídos – variáveis e parâmetros dependem do espaço.

Tendo em vista a temática em questão (previsão de inundações) os modelos utilizados, também, são ditos modelos de simulação de comportamento. Neste sentido, o modelo deve reproduzir um hidrograma (ou cota) a jusante com base a diferentes entradas a montante.

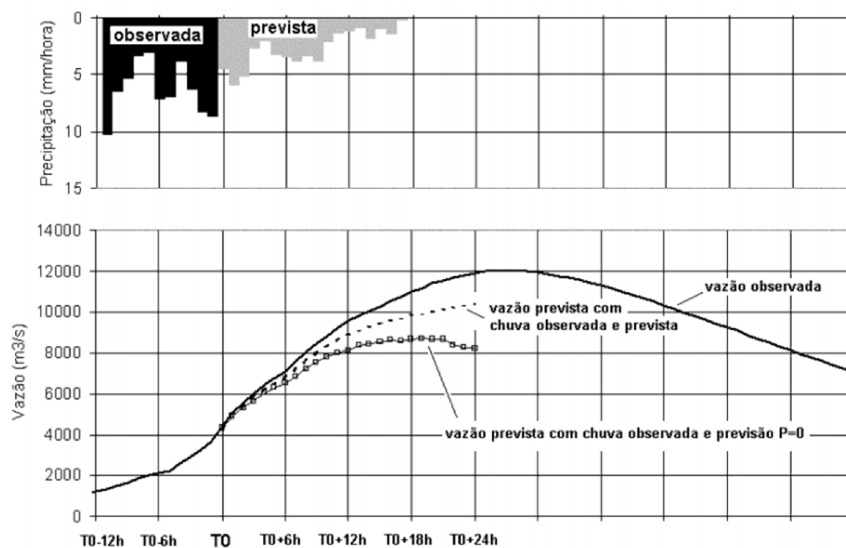
De forma geral, entende-se que os modelos hidrológicos podem ser estabelecidos com uma estrutura simplificada ou complexa. Na primeira, o sistema e seus fenômenos hidrológicos são representados em parte, enquanto na segunda estrutura, há uma representação detalhada destes. A escolha do tipo de modelo a ser empregado na região de estudo dependerá do objetivo do uso da previsão, das informações disponíveis, do horizonte da previsão esperado, entre outros fatores (CHATFIELD, 1996).

A previsão em tempo real pode ser modelada com base em posto fluviométrico a montante (modelos vazão[cota]-vazão[cota]), no conhecimento ou na previsão da precipitação que é transformada em vazão (modelos precipitação-vazão). Estes últimos itens, referem-se a duas opções: integração do modelo de previsão climatológica ao modelo hidrológico (previsão da precipitação) ou uso da precipitação observada/ média histórica (TUCCI, 2003).

A Figura 3 mostra um esquema do comportamento da previsão da vazão realizada com e sem o uso da precipitação prevista para o período adjacente. A

desvantagem associada a este tipo de modelagem é a incerteza da previsão que pela incorporação da previsão por conjunto (ensemble) busca diminuí-la, pois explorar as incertezas em forma de valor agregado. Na previsão hidrológica por conjunto, para cada intervalo de previsão é possível avaliar a distribuição de probabilidade da variável prevista. Um exemplo de estudo com aplicação deste tipo de modelagem é Fan (2015) e Piccilli (2007).

Figura 3 – Representação do comportamento da previsão da vazão com base em diferentes dados de entrada



Fonte: (PICCILLI, 2007).

Tucci (2005) ressalta que a simulação a partir de vazão (ou cota) a montante agrega menor erro, se comparado com modelos precipitação-vazão, entretanto, somente tem aplicação quando o tempo de deslocamento é pequeno e as contribuições laterais no decorrer do trecho são insignificantes.

Em muitas modelagens, a representação dos processos físicos ocorre através de uma lógica deduzida por equações matemáticas, classificados como modelos empíricos e determinísticos (conhecidos como caixa preta). Nestes, não há relação com o que ocorre na realidade, porém são muito utilizados em virtude da sua versatilidade (TUCCI, 2005).

Sene (2008) cita que podem ser aplicadas técnicas de previsão simples para este objetivo. Estas incluem correlações entre séries temporais, abordagens

multicritério, mapas do tempo de concentração (isócronas), entre outras. A vantagem é a facilidade de aplicação e, além disso, podem servir de alternativas na ocorrência de falhas dos métodos mais sofisticados, possibilitando a verificação da plausibilidade das metodologias.

Estes modelos baseiam-se em relações das estatísticas das séries temporais de variáveis hidrológicas e, neste contexto, Chatfield (1996) apresenta os métodos de previsão enquadrados em três grandes grupos. O primeiro grupo é denominado subjetivo, e engloba a aplicação de métodos com abordagem estatística que variam de ousadas extrapolações a previsões de consenso com base em *feedback*. O segundo grupo é o univariado, onde os modelos baseiam-se em nas observações de séries temporais, havendo projeções. Por fim, os multivariados, com as previsões de uma variável dependendo, pelo menos em parte, de uma ou mais variáveis explicativas.

Dentro das previsões classificadas como univariadas enquadram-se técnicas de extrapolação de curvas e modelos auto regressivos (ARIMA - modelo auto regressivo integrado de média móvel, ARMA - modelo auto regressivo de médias móveis, MA – modelo média móvel, AR – modelo auto regressivo), enquanto nas previsões multivariadas, fazem uso de técnicas de regressões múltiplas lineares e não-lineares, além de Redes Neurais Artificiais (RNA).

Devido ao crescente reconhecimento da sociedade sobre a importância dos sistemas de alertas de inundação, e sobre a gestão dos locais com riscos de danos, tem-se despertado maior expectativa com relação ao aprimoramento das previsões. Portanto, métodos de simples extrapolações já não são suficientes, havendo a necessidade de novos procedimentos, baseados em mais variáveis, numa abordagem integrada de modelagem, com o objetivo de melhorar a precisão das estimativas dos hidrogramas em tempos futuros (MOORE et al., 2006).

O modelo mais simples de transformação da precipitação em vazão, de forma empírica, é um modelo de regressão múltipla, que utiliza técnicas de correlações da vazão no instante  $t$  com a precipitação em alguns locais próximos ou média anterior (histórica). Depois de estabelecido o modelo, há a possibilidade de utilizar a previsão meteorológica da precipitação, a fim de aumentar a antecedência da previsão.

Os modelos baseados em correlações são, muitas vezes, aplicados a alerta de inundações, sendo seus parâmetros relacionados com o local de análise, estimados por observações em tempo real de um ou mais locais próximos.

Geralmente, as correlações são estabelecidas entre cotas ou vazões, podendo-se estimar valores de picos, ou que se situam em toda a amplitude - hidrograma (SENE, 2008).

Considerando este tipo de relação, observa-se que, entre as duas seções utilizadas para uma correlação, pode-se ter uma relação não linear em alguns períodos. Ou seja, entradas de vazões de afluentes ao longo do trajeto, perda de vazão através de captação, bem como a extensão e deslocamento dos fenômenos meteorológicos atuantes sobre a região podem ter papel determinante no comportamento da vazão. Assim, uma opção para agregar maior confiabilidade é incluir outros pontos de observação da precipitação e/ou cotas na correlação, que se localizam mais a montante, nos cursos d'água afluentes.

Alguns estudos realizados demonstraram que modelos empíricos de regressão apresentaram boa aplicação na estimativa de cotas/vazões de inundações. Dentre estes, cita-se o estudo de Rezaeiianzadeh et al. (2013) que comparou os resultados de estimativas de vazões de inundação no Irã por meio do uso de RNA, rede adaptativa baseada sistemas de inferência fuzzy, regressão linear e não-linear múltipla, identificando que o método de regressão não-linear múltipla apresentou os melhores resultados para simples previsão de vazão máxima diária.

Oliveira (2010), também estabeleceu uma modelagem de regressão cota-cota para a previsão de cotas de inundação no município de São Sebastião do Caí (RS). Os resultados tiveram bons ajustes, com baixos erros variando de 0,62 m e 1,43 m. Na sequência, para a mesma região, Oliveira, Guasselli e Saldanha (2010), verificaram se os erros teriam influência das características físicas da área de contribuição e da distribuição espacial da chuva. Assim, poderiam incluir, num futuro, mais variáveis explicativas no modelo. Para tal, estabeleceram um índice de enchente para representar a influência de cada sub-bacia no desencadeamento das inundações. Identificaram que a concentração de chuvas nas sub-bacias com maior índice de enchente pode induzir o erro de previsão do modelo.

Muitos sistemas de previsão e alerta de inundações começam a ser desenvolvidos e aplicados por meio de modelos de previsão simples, baseado em correlações, em virtude da facilidade de desenvolvimento e menor necessidade de registros de dados históricos para um primeiro impulso.

Como exemplo, tem-se o modelo desenvolvido para a bacia hidrográfica do rio Doce (MG e ES), o qual, em função da pequena disponibilidade de dados, iniciou

com correlações entre algumas estações de monitoramento fluviométrico, atingindo antecedências de 6 a 24 h dependendo da localidade (CASTILHO; OLIVEIRA; MEDEIROS, 2001). Após, seguiram aperfeiçoando o modelo de previsão, testando modelos de propagação linear (CASTILHO; OLIVEIRA, 2001), método das diferenças – modelo empírico (CASTILHO; DAVIS, 2003), até modelos hidrológicos conceituais de transformação de precipitação-vazão, como IPH II, e propagação por modelo hidráulico e método das diferenças (SILVA et al., 2009). Atualmente, testaram a aplicação de um modelo conceitual distribuído MGB-INPE (modelo hidrológico de grandes bacias, modificado pelo INPE) (GONÇALVES et al., 2013).

Para a região do Vale do Taquari (RS), uma modelagem cota-cota para previsão de inundações, foi realizada com base em regressão linear simples (FERREIRA et al., 2007; ECKHARDT, 2008). As previsões de cota foram realizadas para os trechos compreendidos entre as cidades de Veranópolis-Encantado, Veranópolis-Estrela e Encantado-Estrela. Ao longo dos anos o modelo foi sendo aperfeiçoado, com a inclusão dos eventos mais recentes; assim, nas publicações referentes ao mesmo encontram-se variações na sua expressão (BOTH et al., 2008; DIEDRICH et al., 2010), encontrando-se resíduos nas estimativas de cota que variam de 0,10 a 2,79 m.

### 3.5. CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO COMO SUBSÍDIOS PARA A PREVISÃO DE INUNDAÇÕES

Para o estabelecimento de um modelo de previsão de simples operação, é necessário entender o comportamento hidrológico da região em estudo. Este tipo de análise propicia bases fundamentais para tomadas de decisões em relação aos aspectos que possuem maior contribuição para a elevação dos níveis dos rios e desencadear inundações.

#### 3.5.1. Mecanismos de formação de cheias

As características físicas, geológicas, rede de drenagem, cobertura vegetal, uso e ocupação do solo, entre outras, sobretudo as naturais, de uma bacia hidrográfica apresentam grande influência no comportamento hidrológico (LIMA, 2008). São estes os mecanismos que contribuem no processo de formação de



inundações, podendo ter influência mais ou menos significativa, em função da localidade.

Portanto, existe uma estreita relação entre estes elementos e os processos hidrológicos, tornando-se muito útil o conhecimento das características morfológicas (VILLELA; MATTOS, 1975), pois influenciam, dentre outros aspectos, na infiltração, quantidade de água produzida como deflúvio, evapotranspiração e escoamentos superficial e sub-superficial (TONELLO et al., 2006). Conforme Garcez e Alvarez (1988), estas características podem ser verificadas por meio de mapas e, algumas delas, através de índices numéricos ou medidas geométricas, que constituem os parâmetros morfométricos.

Durante muitos anos, a morfometria não foi muito utilizada, mas a preocupação de medir as formas de relevo através de processos sistemáticos e racionais, ressurgiu com sucesso no final do século XIX. Por um longo período as observações sobre as bacias hidrográficas se restringiram às descrições qualitativas, mas Horton, em seu estudo de 1945, propôs inúmeros aspectos de abordagem analítica para os cursos d'água o que incentivou que outros autores propusessem novas análises (CHRISTOFOLETTI, 1969).

Ainda que este tipo de análise resulte em resultados abstratos do comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica, Christofolletti (1969) ressalta que não se deve concentrar-se única e exclusivamente na interpretação de tais cálculos efetuados, mas deve-se agregar o conhecimento do profissional sobre a região e/ou de dados observados.

O conhecimento da distribuição da altitude (e, conseqüentemente, declividade) na bacia hidrográfica é fundamental, pois reflete diretamente no comportamento das variáveis hidrometeorológicas e define, em parte, a velocidade do escoamento. A área da bacia está associada ao volume que deságua no rio principal, portanto, quanto maior a área de uma sub-bacia pertencente a esta, maior a contribuição para enchentes, conforme é destacado por Oliveira, Guasselli e Saldanha (2010).

Sobre o formato da bacia, há uma tendência de que, quanto mais circular ela for, maiores as chances de que a concentração de toda a vazão ocorra no mesmo ponto e tempo, sendo assim mais propensa a inundações. Contrariamente, em uma bacia estreita e alongada, ocorre contribuição dos tributários em vários pontos do rio

principal, além disso, há menos possibilidade da ocorrência de chuvas intensas em toda a sua extensão (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

É interessante registrar, ainda, que o tempo de concentração também auxilia no entendimento da resposta da bacia hidrográfica frente às precipitações, pois reflete o tempo necessário para que a água escoe do ponto mais extremo ao exutório da bacia hidrográfica (VILELLA; MATTOS, 1975).

Tendo em vista a cobertura vegetal e o uso e ocupação do solo, destaca-se que estes desempenham um papel importante no comportamento do escoamento superficial e capacidade de retenção da água da chuva e, de forma geral, auxiliam no amortecimento de pequenas enchentes. Regiões mais urbanizadas contribuem para o aumento do volume escoado e da velocidade (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

Neste contexto, não se pode deixar de mencionar a importância das características climáticas da região da bacia hidrográfica, uma vez que, são um dos fatores determinantes para ocorrência de inundações, frente aos demais elementos mencionados. Os fenômenos meteorológicos atuantes são decisivos para a distribuição pluviométrica, sendo estes condicionados pelo padrão de circulação atmosférica global, que define a direção e tipo de massas de ar predominantes da região, tendo relação direta com a localização geográfica e a topografia. Percebe-se, então, a complexidade da distribuição da precipitação sobre a superfície da terra (AYOADE, 1996), sendo esta uma das razões pela qual algumas regiões (países) são atingidas com maior/menor grau por inundações.

As precipitações podem ser classificadas em função do fenômeno que a originou, sendo denominadas como chuvas (i) frontais – decorrentes da atuação de frentes frias, atingem grandes áreas, apresentando longa duração e intensidade baixa ou moderada; (ii) convectivas – causadas pela ascensão do ar quente e úmido, função dos complexos convectivos de mesoescala ou isolados, atingem pequenas áreas, com curta duração e elevada intensidade; ou (iii) orográficas – quando massas de ar quente e úmido encontram montanhas/morros originando chuvas (AYOADE, 1996; SANTOS, 2007).

As chuvas frontais possuem maior influência no acontecimento de inundações em bacias hidrográficas de grandes extensões, por causarem chuvas distribuídas e contínuas, enquanto, as chuvas convectivas associam-se a inundações em pequenas bacias, por serem mais localizadas.

### 3.5.2. Análise probabilística de eventos extremos máximos

A análise da frequência dos eventos extremos máximos, também, contribui para uma melhor compreensão do comportamento hidrológico e previsão das inundações. Esta é realizada estimando-se a probabilidade de ocorrência da variável hidrológica em análise, possibilitando entender o tempo de retorno (TR) dos eventos extremos da mesma.

O tempo de retorno, também denominado de período de recorrência, de determinada variável hidrológica consiste no intervalo médio de tempo, em anos, em que esta pode ser igualada ou superada pelo menos uma vez. A probabilidade de ocorrência é definida como a probabilidade de que esta variável seja igualada ou superada em um ano qualquer (PINTO et al., 1976; SANTOS, 2007; TUCCI et al., 2009).

O conhecimento destes parâmetros para diferentes cotas de inundação de um local é uma ferramenta importante na tomada de decisão frente ao gerenciamento das áreas vulneráveis a estes eventos. Com base neste tipo de informação é possível conhecer a cota referente a um tempo de retorno específico que, muitas vezes, supera o período de registros disponíveis (BAYLISS; REED, 2001).

A análise da probabilidade de valores extremos máximos pode ser realizada através de distribuições empíricas ou teóricas, derivadas de funções assimétricas. As distribuições empíricas baseiam-se na equação de posição de locação da variável em uma série ordenada decrescentemente, não possibilitando a estimativa de eventos não observados. Assim, estimam a probabilidade para cada valor extremo (TUCCI, 2002). Existem diversas equações de posição de locação de amostras ordenadas para encontrar a probabilidade empírica, as principais são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Equações para obtenção da probabilidade empírica de excedência

	Weibull	Blom	Cunnane	Gringorten
<b>Equação</b>	$P = \frac{i}{N + 1}$	$P = \frac{i - 3/8}{N + 1/4}$	$P = \frac{i - 0,4}{N + 0,2}$	$P = \frac{i - 0,44}{N + 0,12}$

$i$  = posição na série ordenada (decrescente)  $N$  = tamanho da amostra

Fonte: (WEIBULL, 1939; BLOM, 1958; CUNNANE, 1978; e GRINGORTEN, 1963; respectivamente).

As distribuições teóricas relacionam funções matemáticas aos dados, o que possibilita a extrapolação dos valores de probabilidade para eventos muito raros, não observados. Assim, são mais aplicadas a estudos de eventos extremos relacionados à análise de inundações (TUCCI, 2002).

Na literatura (NAGHETTINI; PINTO, 2007; TUCCI et al., 2009; BRUTSAERT, 2005) verifica-se que as principais distribuições de probabilidades teóricas para o ajuste de valores máximos são: Gumbel, Generalizada de Valores Extremos (GEV), Pearson e Log-Pearson tipo III, e Log-Normal.

A distribuição GEV trata-se da combinação da primeira e terceira distribuição assintótica de valores extremos (BRUTSAERT, 2005). A distribuição assintótica de valores extremos é subdividida em três, devido a pequenas particularidades, sendo estas denominadas do tipo I ou Gumbel; tipo II ou Frechet e tipo III ou Weibull. Os últimos nomes referem-se aos autores que aprofundaram tais distribuições (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1994).

Jenkinson (1955) descreve que a GEV é a base de todas as três distribuições de valores extremos citadas no parágrafo anterior, por conseguinte, as três são casos especiais da GEV. Esta distribuição teve ampla aplicação na área das ciências ambientais, na previsão de fenômenos como inundações, e passou a ser utilizada para estimativa da frequência regional de inundações (BRUTSAERT, 2005).

A distribuição Log-Normal, deriva da distribuição Normal, a qual surgiu do teorema de limite central, sendo aplicada a variáveis hidrológicas formadas através do produto de outras variáveis. Considera que os logaritmos dos valores da variável ( $\log X$ ) apresentam uma distribuição normal (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1994). Conforme Brutsaert (2005), durante muitos anos esta distribuição foi utilizada para descrever as vazões máximas nos EUA.

A distribuição de Gumbel (ou distribuição assintótica de extremos tipo I) (GUMBEL, 1941) é muito utilizada em estudos hidrológicos para a determinação da probabilidade de eventos extremos como vazões máximas e chuvas máximas (BEIJO; MUNIZ; NETO, 2005; SANSIGOLO, 2008; LONGO et al., 2006). No entanto, a utilização deste método está condicionada a uma distribuição dos dados do tipo exponencial (TUCCI, 2002).

A distribuição de Pearson/Log-Pearson tipo III considera que os logaritmos da variável obedecem a uma distribuição gama de três parâmetros. Segundo Brutsaert (2005), em 1960, foi recomendado o uso desta distribuição em todos os estudos nos

EUA referentes à análise da frequência de inundações, para uma melhor uniformidade e consistência nas pesquisas e planos desenvolvidos.

Assim, diante da possibilidade de aplicação de distribuições empíricas e teóricas, é praticamente inquestionável que as teóricas expressam uma avaliação mais fidedigna para a previsão de inundações. Apontando para tal fato, cita-se o estudo de Selaman, Said e Putuhena (2007), que avaliou o uso de distribuição empírica e teórica para análise da frequência de inundações em Sarawak, na Malásia.

Dentre todas as distribuições teóricas existentes, a mais adequada para aplicação a uma série de dados deve ser escolhida a partir de testes. Nesta linha, Garcia e Braga Jr. (1997) ressaltam a importância de testar diversas distribuições estatísticas para o ajuste aos dados, devido à falta de bases sólidas. Ainda, destacam que o bom ajuste em relação aos pontos observados não garante a consistência da extrapolação.



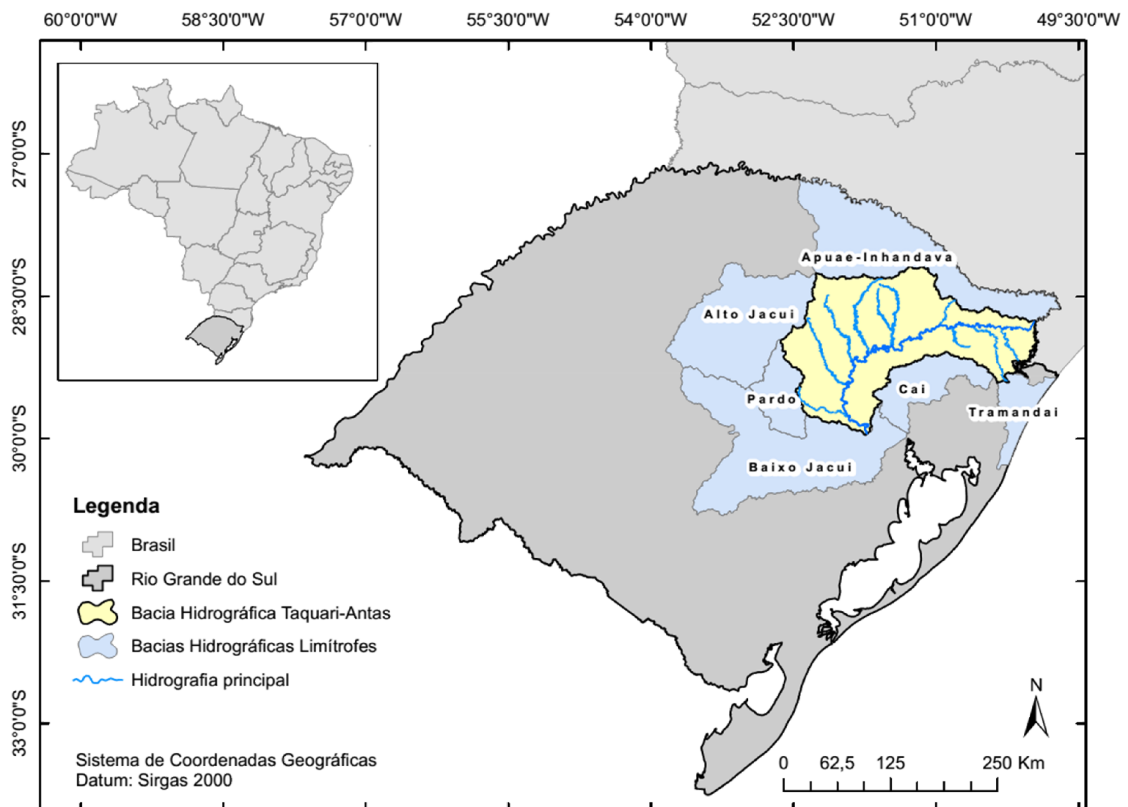
## 4. ÁREA DE ESTUDO

Em um primeiro momento a área de estudo se concentrou na bacia hidrográfica Taquari-Antas, para o entendimento dos processos de formação das inundações. Na sequência, as análises foram focadas no trecho que compreende a região do Vale do Taquari, para a definição do modelo de previsão das cotas máximas de inundação no município de Estrela.

### 4.1. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA TAQUARI-ANTAS

A bacia hidrográfica Taquari-Antas está localizada na região nordeste do RS (Figura 4), compreendendo uma área de, aproximadamente, 26.428 km<sup>2</sup>. Abrange cerca de 9 % da área do estado, e possui 119 municípios inseridos completamente, ou parcialmente, na sua extensão. (FERRI, 1991).

Figura 4 – Localização da bacia hidrográfica Taquari-Antas



Fonte: (autor).

O rio Taquari-Antas possui uma extensão de 530 km, sendo um trecho de 390 km denominado de Antas e outro de 140 km de Taquari. Os afluentes mais importantes da margem esquerda são os rios Camisas, Tainhas e Lajeado Grande, e da margem direita os rios Quebra-Dentes, da Prata, Carreiro, Guaporé, Forqueta e Taquari-Mirim (FERRI, 1991).

Esta bacia está inserida na região hidrográfica do Lago Guaíba, sendo o rio Taquari-Antas o principal afluente do rio Jacuí, que é contribuinte direto do referido lago. Em função da sua extensão, a bacia hidrográfica Taquari-Antas apresenta grande variabilidade das suas características topográficas, tipo de solo, cobertura vegetal, uso e ocupação do solo, entre outras, o que reflete diretamente no comportamento hidrológico (FEPAM, 2001).

Do ponto de vista hidrológico, a bacia Taquari-antas é caracterizada por regimes torrenciais, com escoamento superficial rápido e bruscas variações de vazão, em função da declividade média elevada, rede de drenagem densa com tendência radial, pouca cobertura vegetal, baixa profundidade e permeabilidade dos solos. As grandes alterações no regime de vazões são derivadas de chuvas frontais, que juntamente com as características naturais reflete na propagação de elevados volumes de água, configurando inundações com características graduais (FEPAM, 2014).

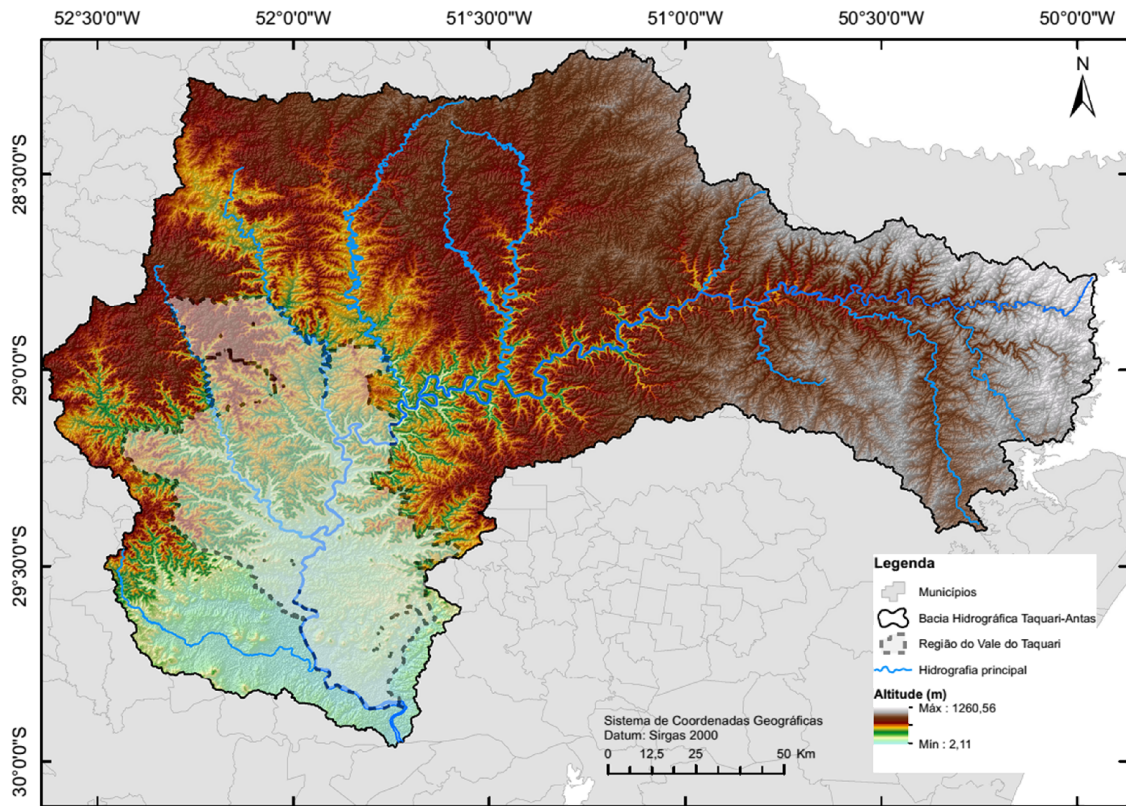
A altitude da bacia varia de valores superiores a 1.000 m, nas cabeceiras, à cerca de 2 m na foz junto ao rio Jacuí (Figura 5). Conforme o estudo da FEPAM (2001), as características topográficas permitem separar o rio Taquari-Antas em três áreas com distintos padrões de paisagem:

- i) altitudes superiores a 700 m: das nascentes do rio Taquari-Antas até a foz com o rio Tainhas, onde o rio apresenta declividade acentuada (média de 4,8 m/Km) com afluentes encaixados e muitas corredeiras;
- ii) altitudes entre 700 m e 200 m: seguindo da foz do rio Tainhas à foz do rio Guaporé, onde o rio tem declividade menos acentuada (média de 1,6 m/Km), mas ainda com vales encaixados e corredeiras; e
- iii) altitudes inferiores a 200 m: compreendendo do limite anterior à confluência com o rio Jacuí, trecho do rio com pouca declividade (média 0,2 m/Km) e raras corredeiras, próximo à foz.

Este último trajeto é chamado de baixo curso do rio Taquari-Antas, compreendendo a região inferior da bacia hidrográfica (FERRI, 1991).



Figura 5 – Mapa altimétrico da bacia hidrográfica Taquari-Antas



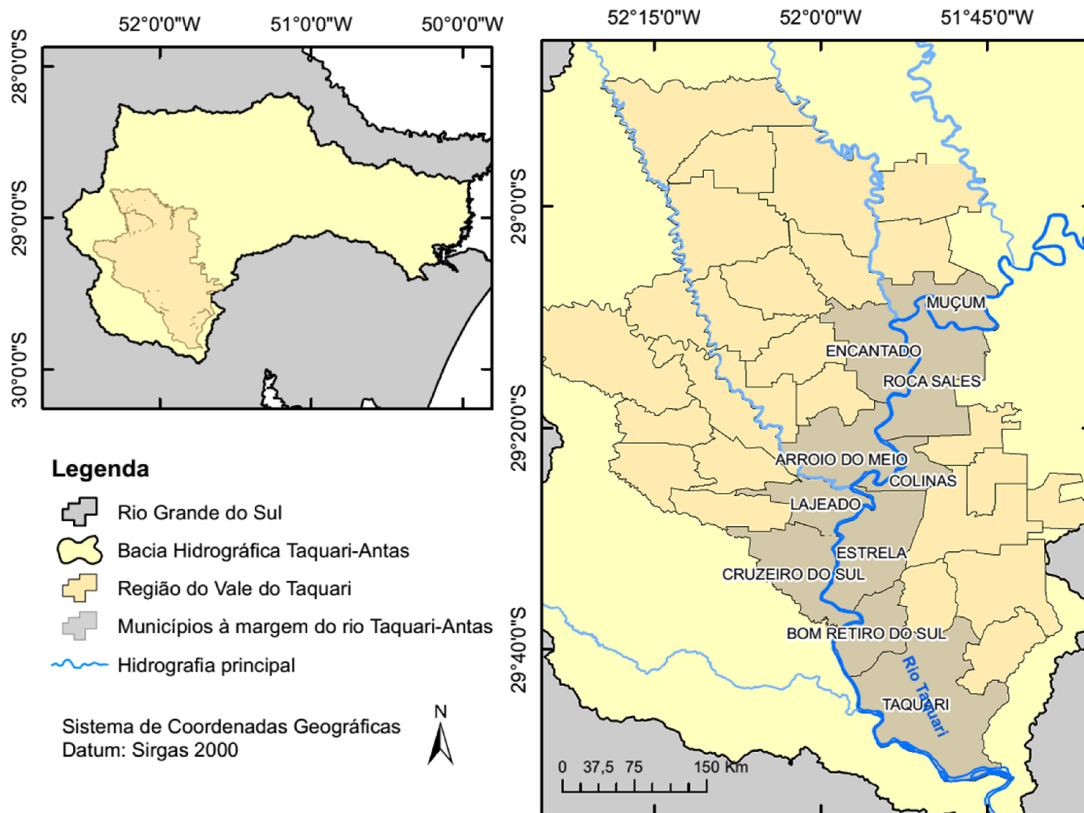
Fonte: (autor).

#### 4.2. CARACTERIZAÇÃO DO VALE DO TAQUARI

A região geopolítica do Vale do Taquari situa-se na porção inferior da bacia hidrográfica Taquari-Antas (Figura 6) que, portanto, apresenta uma extensa área de planície do rio Taquari suscetível às inundações.

O Vale é constituído por 36 municípios, e possui uma área de 4.821,1 Km<sup>2</sup> (BDR, 2011) e uma população residente de 327.822 hab. (3,07% da população do estado) (IBGE, 2010). Dez municípios (com cerca de 220.000 hab.) situam-se às margens esquerda e direita do rio Taquari, dentre eles Muçum, Encantado, Estrela e Lajeado são os mais atingidos na área urbana pelas inundações ribeirinhas devido ao extravasamento deste rio.

Figura 6 – Localização do Vale do Taquari/RS, com destaque dos municípios situados à margem do rio Taquari



Fonte: (autor).

#### 4.2.1. Comportamento climático

O clima no Vale do Taquari, tendo em vista a classificação de Köppen - uma classificação mais abrangente, em escala global - é enquadrado em temperado úmido (zona "C" tipo "Cf") e pode ser subdividido em duas variedades específicas: "Cfa" (subtropical) e "Cfb" (temperado), localizando-se esta última na região mais alta, em torno do município de Arvorezinha e Ilópolis. A característica principal deste tipo de clima é distribuição das chuvas relativamente uniforme durante todos os meses do ano.

Rossato (2011) realizou um estudo aprofundado das características do clima do RS, compondo, ao final, uma nova classificação climática específica para o estado. Nesta classificação o clima do Vale do Taquari é definido como subtropical, compreendendo duas tipologias: II (mediamente úmido com variação longitudinal

das temperaturas médias) e parte na transição para IVb (muito úmido com inverno frio e verão fresco).

A maior parte da região em estudo enquadra-se no subtropical II, sendo que a porção acima do Vale do Taquari, é toda enquadrada no tipo climático subtropical IVb, conforme Rossato (2011).

A dinâmica das massas de ar possui ação decisiva no comportamento do tempo do estado do RS. Em função da localização geográfica, as principais massas de ar que atuam são Polar Atlântica (úmida e fria), Tropical Atlântica (úmida e quente) e a Tropical Continental (seca e quente) (MONTEIRO, 1968).

A influência maior no tempo da região do Vale do Taquari decorre da massa de ar Polar Atlântica, que se desloca, normalmente, no sentido sudoeste-nordeste formando as frentes frias, quando se encontra com a massa Tropical Atlântica. As frentes frias têm maior frequência no inverno, porém também ocorrem nas outras estações. Estas são responsáveis pelas chuvas frontais, com distribuição contínua e intensa.

As outras duas massas de ar têm maior atuação no verão, sendo responsáveis pelas chuvas neste período que, comumente, ocorrem de forma rápida e localizada, denominadas chuvas convectivas (NIMER, 1990).

Restringindo-se às definições da gênese e característica das tipologias climáticas proposta por Rossato (2011), para as classes pertencentes à região em questão, nota-se que estas corroboram com o exposto. A região subtropical II, que se estende por maior área, apresenta principal influência dos sistemas polares e tropicais, porém, há interferência de sistemas tropicais marítimos e influência do relevo, da continentalidade e maritimidade. As chuvas anuais oscilam entre 1500 e 1700 mm, e os sistemas frontais são responsáveis pela maior parte destas.

O região de transição para o clima subtropical IVb apresenta uma umidade mais elevada (chuvas anuais entre 1700 e 2000 mm), com diminuição da atuação dos sistemas polares. Ao passo que se se dirige à porção superior da bacia hidrográfica Taquari-Antas (distanciando-se do Vale do Taquari) há maior influência dos sistemas tropicais marítimos e do efeito relevo-altitude, havendo ocorrência de chuvas orográficas importantes (ROSSATO, 2011).

Resumidamente, o regime pluviométrico no Vale do Taquari tem característica relativamente uniforme, ocorrendo chuvas em todos os meses do ano. No entanto,

no inverno e primavera são observados os maiores volumes, em função da elevada atuação das frentes frias.

É importante mencionar que o fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) de grande escala, conhecido como El Niño e La Niña, também influencia no clima e tempo da região, sobretudo, nas anomalias do regime pluviométrico. A atuação do El Niño provoca precipitações acima da média, ocorrendo o oposto para a La Niña (CUNHA, 2003).

#### **4.2.2. Considerações sobre as inundações na região**

Os primeiros registros de ocorrência de inundações no Vale do Taquari são datados no século XIX (CIH, 2013; FERRI, 1991). Nesta região, o processo de crescimento dos municípios, a exemplo de outros locais, ocorreu de forma desenfreada, movido pelo período industrial, com o estabelecimento de muitos municípios às margens dos principais rios e com conseqüente ocupação de áreas de risco (ECKHARDT et al., 2013).

Ferri (1991) salienta que no Vale do Taquari são observados os maiores prejuízos decorrente das inundações desta região hidrográfica, devido à alta concentração de núcleos urbanos próximos aos cursos d'água e pelo relevo mais aplainado. A problemática nesta região também é evidenciada pelo Plano da Bacia Taquari-Antas (PBTA, 2011).

Levantamentos realizados para a região em questão indicam que os prejuízos econômicos associados às inundações podem ser da ordem de milhões, afetando uma porcentagem considerável da população. Conforme CIH (2013), duas inundações que ocorreram no ano de 2001 (em 22/07 e 03/10) ocasionaram impactos a 16.796 pessoas e os prejuízos somaram um valor equivalente a R\$ 18 milhões.

Eckhardt et al. (2013) identificaram que a inundação de julho de 2011 afetou 27 % da população do Vale do Taquari (83.643 hab.) e resultou em prejuízo econômico da ordem de R\$ 45 milhões e prejuízo materiais (edificações e infraestruturas) de R\$ 18,138 milhões. O município de Lajeado teve o maior número de pessoas atingidas (39.216 hab.), enquanto Arroio do Meio foi o mais prejudicado em danos materiais, e Estrela em danos ambientais e sociais (impacto no saneamento, atendimento saúde pública e educacional).

É possível perceber que o impacto decorrente das inundações é relevante, especialmente, por ser uma região frequentemente atingida. Desta forma, verifica-se a importância do estabelecimento de medidas de controle e de mitigação dos impactos deste processo no Vale do Taquari.

#### **4.2.3. Estudos relacionados a previsão de inundação na região**

Em virtude dos problemas relacionados às inundações, o Vale do Taquari é uma região que vem sendo muito estudada, sobretudo, para o desenvolvimento e aplicação de modelos de previsão da vazão em épocas de inundações, e sistemas de alerta. Dentre os estudos, cabe citar os realizados em um período mais recente.

Collischonn (2001) desenvolveu e aplicou o modelo hidrológico de grandes bacias, denominado MGB-IPH, à bacia hidrográfica Taquari-Antas, para prever a vazão em 11 estações fluviométricas. Alcançou bons resultados, com coeficiente de Nash-Sutcliffe acima de 0,80, na calibração e validação. O que implica na aplicação deste modelo é a necessidade de um número elevado de parâmetros / dados de entrada (precipitação, temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, insolação e pressão atmosférica), visto que é distribuído, com estrutura complexa.

O IPH-UFRGS, por meio do grupo de pesquisa Hidrologia de Grande Escala, também desenvolveu um projeto com objetivo de prever a vazão na bacia hidrográfica Taquari-Antas e do rio Pelotas (BELTRAME; COLLISCHONN, 2012; FAN et al., 2012). O projeto consiste na previsão de curto prazo em afluentes de reservatórios de hidroelétricas com base na previsão da chuva, utilizando o modelo MGB-IPH. Atualmente, estas não estão disponíveis em tempo real, somente para a bacia do rio Pelotas.

Atualmente, este grupo segue os estudos nesta região através de um novo projeto com vínculo ao Centro Universitário de Estudos e Prevenção de Desastres (CEPED/RS), inserido no macro projeto previsão de vazão. Esta instituição pretende elaborar modelos capazes de realizar previsões de médio prazo, visando contribuir com as novas diretrizes propostas pelo governo federal (UFRGS, 2014).

A CPRM também está realizando estudos com o intuito de estabelecer um sistema de previsão e alerta, além de aumentar a rede de monitoramento hidrológico (Projeto Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do Rio Taquari – sace-taquari). Os

dados da rede de linígrafos instalada estão disponíveis em: <<http://sacetaquari.cprm.gov.br>> (CPRM, 2013).

Ainda, existem outros projetos em desenvolvimento nesta temática e com pretensão de aplicação a região em questão, que se tem menor conhecimento (ou nenhum), como, por exemplo, Desenvolvimento e Experimentação com Aplicações Hídricas e Ambientais de RNA (PEDROLLO et al., 2010). As RNAs são aplicadas comumente para a previsão de curto prazo, mas também necessitam de um número considerável de parâmetros.

Verifica-se, no entanto, que estes estudos buscam a elaboração de modelos matemáticos mais complexos, com diversas relações entre variáveis observadas e previstas, que representam os processos hidrológicos. Em alguns casos, os resultados destes podem ser mais satisfatórios do que simples regressões, porém, sua aplicabilidade requer a constante operação e manutenção, com operadores capacitados e conhecimento aprofundado sobre a área temática. Desta forma, tornam-se mais onerosos em comparação com modelos mais simples.

Neste sentido, é necessário ressaltar que, de forma geral, os sistemas de previsão e alerta apresentam um custo de elaboração e operação muito inferior as perdas em um evento. Porém, necessita de recursos financeiros constantes para sua manutenção e efetiva operação em eventos significativos. Assim, a existência de um sistema com um modelo de previsão de simples operação e baixo custo é fundamental.

O Vale do Taquari dispunha de um sistema de previsão e alerta de inundações de simples operação e com baixo custo, o qual foi desenvolvido e gerenciado pela Univates. Este, denominado de Sistema de Previsão e Alerta de Enchentes (SPAEE), começou a ser implantado no ano de 2003, através de parcerias com AHSUL (Administração de Portos e Hidrovias). O sistema operou até meados de 2007, sendo interrompido em função da perda de equipamentos e pela alteração da tecnologia de transmissão de dados (CIH, 2013).

O sistema era composto por uma rede monitoramento com 15 linígrafos (no rio principal e afluentes) na bacia hidrográfica Taquari-Antas. As informações eram disponibilizadas para as defesas civis e comunidade em geral. O modelo de previsão utilizado, que simulava a cota máxima de alcance da inundação em diversos municípios, era baseado na relação cota x cota, conforme mencionado no item 3.4 (CIH, 2013).

Quanto à equação do modelo, esta foi sendo atualizada ao longo dos anos, com o intuito de encontrar uma melhor precisão da previsão com a inclusão de novos registros que foi se tendo conhecimento. A Tabela 3 expõem a evolução da equação do modelo cota-cota.

Tabela 3 – Evolução das equações do modelo cota-cota do SPAE, gerenciado pela Univates

Ano/ publicação	Equação*	Série de eventos
2007 / 2008 (Ferreira et al., 2007 / Eckhardt, 2008)	$y = \frac{-1459,52}{x} + 57,8512$	1942 a 2007 (28 eventos)
2008 (Both et al., 2008)	$y = 0,9082x - 15,471$	1956 a 2007 (28 eventos)
2009 (Eckhardt et al., 2009)	$y = \frac{-1450,39}{x} + 57,6062$	1942 a 2007 (30 eventos)
2010 (Diedrich et al., 2010)	Idem anterior	Idem anterior
2011 (revisão não publicada (CIH, 2013))	$y = \frac{-1457,6188}{x} + 57,9557$	1942 a 2011 (41 eventos)
2012 (revisão não publicada (CIH, 2013))	$y = \frac{-1371,9610}{x} + 55,3658$	1977 a 2012 (51 eventos)

\*y=cota máxima do rio Taquari em Estrela (m); x = cota máxima do rio Taquari em Encantado (m); considerando a referência ao nível do mar, em ambos os municípios.

Fonte: (FERREIRA et al, 2007; ECKHARDT, 2008; BOTH et al., 2008; ECKHARDT et al., 2009; DIEDRICH et al., 2010; CIH, 2013).

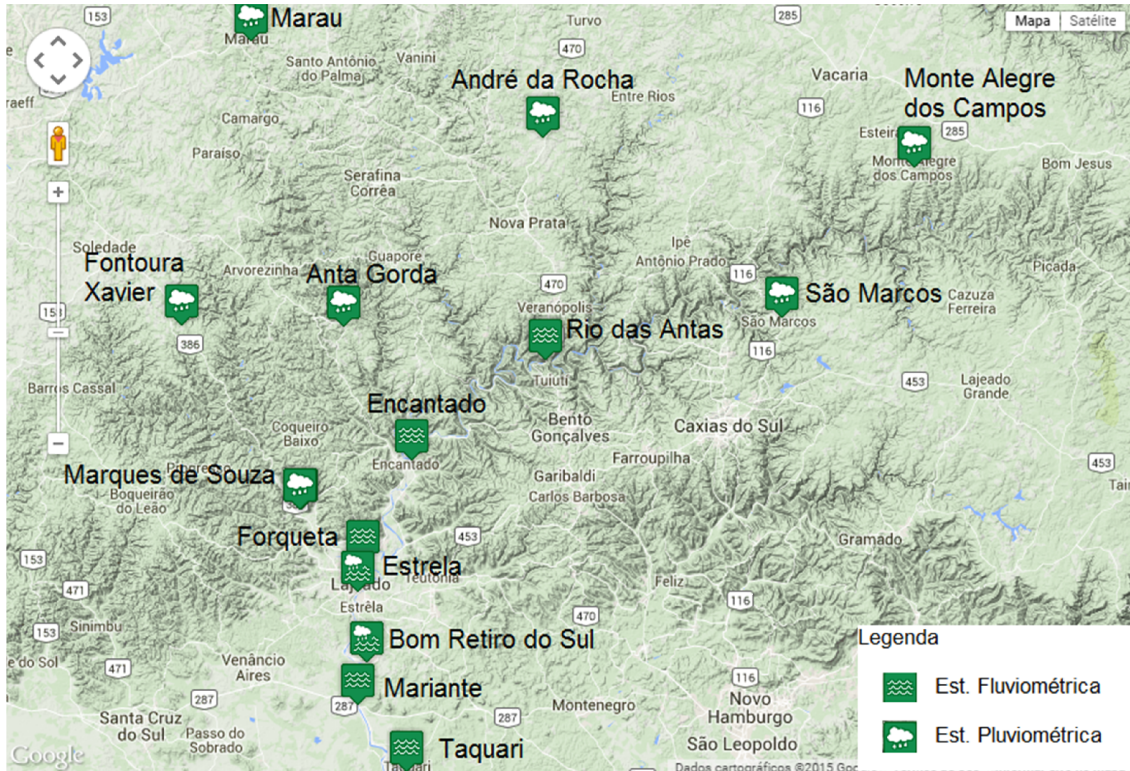
De forma resumida, o SPAE avaliava o nível do rio, projetava a possibilidade e o alcance do nível de determinada inundação, simulando as áreas potencialmente inundáveis e acionando os conselhos municipais de Defesa Civil. Apesar de incipiente, e com certas limitações devidas à captação de dados e à modelagem, o sistema teve resultados satisfatórios, apresentando-se como pioneiro no estado (FERREIRA et al., 2007).

Recentemente, a Univates, por meio de um projeto que envolve a Secretaria da Ciência, Inovação e Desenvolvimento Tecnológico (SCIT) do RS (HAETINGER et al., 2010), arrecadou novos recursos, o que permitiu reinstalar a rede de monitoramento e possibilitar a reativação do sistema de alerta. Esta nova rede de monitoramento inclui 7 estações fluviométricas, com leituras das cotas através de linígrafos, e 9 estações pluviométricas (pluviógrafos), com transmissão em tempo



real em intervalos de tempo de 15 minutos (Figura 7). As informações podem ser acessadas através do site <<http://netsenses.univates.br>>.

Figura 7 – Localização das estações fluviométricas e pluviométricas da Univates



Fonte: Adaptado de <<http://netsenses.univates.br>>.



## 5. METODOLOGIA

Subdividiu-se a metodologia em quatro grandes itens para melhor descrição de todas as etapas realizadas: (i) procedimentos iniciais; (ii) avaliação da rede de monitoramento hidrológica; (iii) análise do comportamento hidrológico da bacia hidrográfica; e (iv) elaboração do modelo de previsão das inundações em Estrela. O primeiro item apresenta os procedimentos iniciais realizados neste estudo, que possibilitaram o desenvolvimento das três principais etapas (itens ii, iii e iv).

A primeira etapa consistiu na avaliação da rede monitoramento hidrológico existente na bacia hidrográfica Taquari-Antas, enquanto a segunda, na análise do comportamento hidrológico. Estas forneceram subsídios para a terceira etapa, que objetivou o estabelecimento do modelo de simples operação para previsão da cota máxima das cheias e, conseqüentemente, das inundações, na região do Vale do Taquari. Ressalta-se que a região de maior interesse encontra-se no trecho do rio Taquari, compreendido entre os municípios de Muçum e Estrela, que são mais afetados pelas inundações.

### 5.1. PROCEDIMENTOS INICIAIS

Para a realização das três principais etapas deste estudo, realizou-se, inicialmente, a coleta dos dados hidrológicos disponíveis na bacia hidrográfica Taquari-Antas e a elaboração de um banco de dados espaciais em um ambiente SIG. Os próximos subitens descrevem detalhes destes procedimentos.

#### 5.1.1. Levantamento dos dados hidrológicos disponíveis da bacia hidrográfica

A coleta dos dados hidrológicos na bacia hidrográfica Taquari-Antas teve como propósito: i) verificar os tipos e a distribuição espacial das estações de monitoramento; ii) identificar os períodos com séries de dados referentes às variáveis hidrológicas: vazão, cota e precipitação; iii) identificar as séries representativas e a existência de dados históricos.

O levantamento geral dos dados hidrológicos disponíveis publicamente foi realizado, principalmente, através de consultas ao Hidroweb (disponível em <http://hidroweb.ana.gov.br/>). Este levantamento também contou com registros

realizados por outras instituições que monitoram variáveis hidrometeorológicas na região, como: Porto Fluvial de Estrela, DEPREC (atual SPH – Superintendência de Portos e Hidrovias, cedidos pelo Prof. Luiz Azambuja), Univates e a CPRM.

As estações de monitoramento da ANA são do tipo convencional, onde o registro das informações é realizado por um operador, a partir da leitura de régua linimétrica ou pluviômetros, o que resulta em informações na escala de tempo diária. As estações da Univates e CPRM, ao contrário, são do tipo telemétricas, onde as medições são realizadas por linígrafos ou pluviógrafos, num intervalo de tempo menor (ex.: 15 min.) e a transmissão dos dados ocorre em tempo real.

### 5.1.2. Concepção do banco de dados espaciais

Em vista da necessidade da delimitação da bacia hidrográfica em questão e suas sub-bacias, bem como de mapas temáticos para as análises posteriores, elaborou-se um banco de dados espaciais em um ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Optou-se pelo uso do software ArcGis versão 10.1, cuja licença acadêmica está disponível.

As bases de dados utilizadas foram obtidas em diversas fontes:

- a) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) – delimitação dos municípios e estados, e distribuição do relevo;
- b) ANA – delimitação das regiões hidrográficas;
- c) Ministério do Meio Ambiente (MMA) – delimitação do bioma Mata Atlântica;
- d) Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LABGEO/UFRGS) – base cartográfica vetorial digital do RS (HASENACK; WEBER, 2010; WEBER; HASENACK, 2007);
- e) Fundação Estadual de Meio Ambiente do Rio Grande do Sul (FEPAM) – localização dos tipos de solos no RS (FEPAM, 2001); e
- f) EMBRAPA – imagens *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) (MIRANDA et al., 2005).

O limite da bacia hidrográfica foi gerado com o uso das imagens SRTM, as quais possuem resolução espacial de 90 m, através das técnicas de delimitação automática de bacia hidrográfica (função *Watershed*), a partir da direção de fluxo e

fluxo acumulado. Após, identificaram-se os limites das principais sub-bacias (afluentes principais), cujos dados hidrológicos estão disponíveis.

Embora as imagens SRTM apresentem menor detalhamento que as cartas topográficas, alguns estudos comparativos dos métodos de delimitação de bacias, como o realizado por Sobrinho et al. (2010), utilizando cartas em escala 1:100.000 com amplitude das curvas de nível de 40 m, demonstram que as diferenças são relativamente pequenas. Considera-se, portanto, que a metodologia por SRTM, além de ser fácil e ágil, proporciona resultados confiáveis.

A partir das bases de dados mencionadas, foram elaborados os mapas de localização, hidrografia, tipo de solo, uso e ocupação do solo e cobertura vegetal da bacia hidrográfica, o que auxiliou na descrição das principais características do local de estudo. Sequencialmente, aplicando as técnicas de geoprocessamento elaborou-se o mapa altimétrico da região.

## 5.2. AVALIAÇÃO DA REDE DE MONITORAMENTO HIDROLÓGICA

A avaliação da qualidade da distribuição espacial da rede de monitoramento fluviométrico e pluviométrico, existente na bacia hidrográfica, foi realizada a partir da localização das estações de monitoramento em operação (e não operante) e as recomendações da WMO (*World Meteorological Organization*). Esta organização apresenta instruções sobre a mínima densidade da rede de monitoramento (WMO, 1994) e o uso em sistemas de previsão e alerta de inundações (WMO, 2011).

Conforme já descrito (item 3.3), a WMO (1994) apresenta as recomendações da abrangência necessária para cada estação (fluviométrica – cota/vazão – e pluviométrica) em função da zona fisiográfica. Entretanto, nesta e demais publicações da WMO, não há a definição dos critérios para a classificação das zonas fisiográficas, o que implica, em parte, na avaliação de uma rede existente devido à subjetividade envolvida.

Partindo desta necessidade e da insuficiência de informações, subdividiu-se a bacia hidrográfica em regiões análogas à classificação da WMO, com base no mapa altimétrico, elaborado previamente, e nas subdivisões do relevo brasileiro, apresentadas no mapa temático do IBGE (IBGE, 2006). De forma complementar, visando a adequação da classificação das zonas fisiográficas à realidade do país, utilizou-se o Manual Técnico de Geomorfologia (IBGE, 2009) e as publicações:

Recursos Naturais e Meio Ambiente: uma visão do Brasil (IBGE, 1996) e Biodiversidade dos campos do planalto das araucárias (MMA, 2009) como subsídios ao processo.

### 5.3. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA

Nesta etapa, pretendeu-se descrever como ocorre o mecanismo da formação das cheias/inundações, ressaltando as principais regiões influentes (sub-bacias) e a vulnerabilidade do Vale do Taquari às inundações. Da mesma forma, foi avaliada a recorrência das inundações na região do Vale do Taquari, por meio da análise das cotas do rio Taquari. Para tal, fizeram-se três análises distintas, as quais são descritas nos próximos subitens.

#### 5.3.1. Caracterização morfométrica

De posse aos mapas elaborados e da delimitação da bacia hidrográfica e sub-bacias identificadas (nos procedimentos iniciais), extraíram-se as características fisiográficas destas, por meio dos principais itens que as descrevem para a análise de inundações: área total, comprimento e declividade do rio principal, comprimento e declividade da bacia hidrográfica/sub-bacia e curva hipsométrica. Além disso, foram calculados os valores dos parâmetros morfométricos que refletem as características associadas à forma da bacia hidrográfica.

Na Tabela 4 são descritos os principais índices referentes aos parâmetros morfométricos que auxiliam na identificação da contribuição das características naturais da bacia (ou sub-bacias) para a ocorrência de inundações. Estes são apresentados tendo como base as seguintes publicações: Villela e Mattos (1975), Garcez e Alvarez (1988) e WMO (1994).

Os resultados referentes aos índices expostos têm relação importante e direta com a escala de análise utilizada, ou seja, com o nível de detalhamento das informações da área de estudo. Por exemplo, na densidade de drenagem, em função da escala, pode haver variação no valor do comprimento das drenagens. As informações das características em escalas de análises menores proporcionam uma

representação mais próxima da realidade. Neste estudo, utilizou-se a escala 1:250.000 para avaliação da densidade de drenagem.

Tabela 4 - Descrição dos parâmetros morfométricos aplicados à bacia hidrográfica Taquari-Antas e principais sub-bacias identificadas

Parâmetro morfométrico	Definição	Equação*	Interpretação
Índice de conformação (Kf)	Relaciona a forma da bacia com um retângulo. Compara a mesma com outra de mesmo tamanho, porém com maior forma.	$Kf = \frac{A}{L^2}$	Quanto maior o valor (próximos a 1) há maior potencialidade de ocorrência de picos de cheias elevados, pois indica que a forma da bacia tende a ser circular. E o oposto infere uma bacia estreita e alongada.
Índice de compacidade (Kc)	Relaciona o perímetro da bacia hidrográfica com a circunferência de um círculo de mesma área da bacia. Exprime a relação da forma da bacia com a de um círculo.	$Kc = \frac{0,28 P}{\sqrt{A}}$	Valores baixos, próximos a unidade, indicam maior potencialidade de produção de picos de cheias elevados – forma circular. Quando o valor é superior a 1,00 indica que a bacia possui uma forma alongada.
Índice de circularidade (Ic)	Relação entre a área da bacia e a área de um círculo de mesmo perímetro.	$Ic = \frac{A 4\pi}{P^2}$	O valor tende a 1,00 à medida que a bacia se aproxima de uma forma circular, e o oposto indica a proximidade da forma alongada.
Índice de densidade de drenagem (Dd)	Indica a eficiência de drenagem da bacia hidrográfica.	$Dd = \frac{L^*}{A}$	O índice varia de 0,5 a 3,5 km/km <sup>2</sup> , referindo-se, respectivamente, a bacias com drenagem pobre e excepcionalmente bem drenadas. Quanto maior a densidade maior é velocidade com que a água atinge o rio.

\* A = área da bacia hidrográfica; L = comprimento axial; P = perímetro, L\* = comprimento da drenagem.

Fonte: (VILLELA; MATTOS, 1975; GARCEZ, ALVAREZ, 1988; WMO, 1994).

### 5.3.2. Determinação do tempo de concentração

O tempo de concentração foi determinado para as principais sub-bacias identificadas e para três pontos de monitoramento ao longo do rio Taquari (Muçum, Encantado e Estrela), que apresentavam disponibilidade de séries de dados representativas. Em virtude da indisponibilidade de extensas séries de vazão

próximas aos exutórios e nos pontos citados, tal avaliação ocorreu a partir das séries de cotas diárias. Salieta-se que este tipo de análise, através de dados diários, não resulta em um bom entendimento do comportamento hidrológico na propagação das cheias mas, diante das opções disponíveis, fornece indicativos.

Na bibliografia encontram-se equações empíricas elaboradas para determinação do tempo de concentração, mas com resultados pouco confiáveis, visto que a maior parte destas equações é empírica e foram desenvolvidas para outras bacias hidrográficas (SILVEIRA, 2005).

Assim, o tempo de concentração foi estimado através do emprego da metodologia da análise da evolução de diversos cotagramas, realizando-se uma média de todos os resultados encontrados, seguindo o procedimento descrito por Chow; Maidment e Mays (1994). A precipitação média de cada sub-bacia foi determinada através da aplicação do método dos triângulos de Thiessen, com auxílio do *software* ArcGis versão 10.1; já que não é necessário a precisão do volume ocorrido.

### **5.3.3. Determinação das cotas máximas do rio Taquari para diferentes tempos de retorno**

Para o desenvolvimento desta análise utilizaram-se as séries de cotas máximas anuais das estações de monitoramento localizadas no rio Taquari na planície da bacia, especificamente, nos municípios de Encantado e Estrela. As séries anuais foram elaboradas com base na compilação de todas as informações disponíveis pelas fontes de dados apresentadas no item 5.1.1.

Em busca da distribuição probabilística que melhor se ajustasse a cada uma das séries de dados, submeteu-se estas ao ajuste dos parâmetros de nove distribuições, com auxílio do *software* EasyFit, versão 5.6 Professional (MATHWAVE, 2015): GEV, Weibull, Gumbel para valores extremos máximos, Pearson e Log-Pearson tipo III, Normal e Log-Normal, Gama e Log-gama. As funções destas distribuições, bem como a descrição dos parâmetros estimados, estão compiladas na Tabela 5.

A escolha da distribuição probabilística mais adequada decorreu da aplicação dos seguintes testes de aderência, através do *software* Easy Fit: Kolmogorov-Smirnov (KS), Anderson Darling (AD) e Qui-quadrado ( $\chi^2$ ), conforme apresentado

por Naghettini e Pinto (2007) e Mathwave (2014). Os testes avaliam, através de hipóteses, a qual distribuição os dados tem melhor ajuste, comparando em cada uma as estatísticas obtidas à crítica, para o nível de significância adotado; sendo que para que a distribuição seja aceita, não se pode superar a estatística crítica.

Os três testes citados são os principais aplicados na hidrologia estatística (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Comumente, verifica-se a aplicação do teste KS (ex.: BAENA et al., 2004), pelo fato de suas poucas restrições quanto a sua aplicação, mas nem sempre gera os melhores resultados. Catalunha et al. (2002) destaca a melhor eficiência do teste  $\chi^2$  em comparação ao KS, pela rigorosidade ao longo da avaliação dos dados para aceitação ou da hipótese nula ( $H_0$ ).

Tendo em vista a melhor distribuição, considerando o nível de significância de 5%, estimaram-se as cotas máximas para os seguintes períodos de recorrência: 2, 5, 10, 25, 50, 100, 150 e 200 anos, em ambas as estações de monitoramento.

Tabela 5 – Funções das distribuições probabilísticas aplicadas às séries de dados para estimar a recorrência das cotas

(continua)

Distribuição probabilística	Parâmetros	Função densidade de probabilidade	Função de distribuição cumulativa
GEV	$\kappa$ - forma $\sigma$ - escala (>0) $\mu$ - posição	$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma} \exp(-(1+kz)^{-1/k}) (1+kz)^{-1-1/k} & k \neq 0 \\ \frac{1}{\sigma} \exp(-z - \exp(-z)) & k = 0 \end{cases}$	$F(x) = \begin{cases} \exp(-(1+kz)^{-1/k}) & k \neq 0 \\ \exp(-\exp(-z)) & k = 0 \end{cases}$ <p>Quando:</p> $z \equiv \frac{x - \mu}{\sigma}$
Weibull	$\alpha$ - forma (>0) $\beta$ - escala (>0) $\gamma$ - posição	$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x - \gamma}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left(-\left(\frac{x - \gamma}{\beta}\right)^\alpha\right)$	$F(x) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{x - \gamma}{\beta}\right)^\alpha\right)$
Pearson tipo III	$\alpha$ - forma (>0) $\beta$ - escala (>0) $\gamma$ - posição	$f(x) = \frac{(x - \gamma)^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \exp(-(x - \gamma)/\beta)$	$F(x) = \frac{\Gamma_{(x-\gamma)/\beta}(\alpha)}{\Gamma(\alpha)}$

Tabela 5 – Funções das distribuições probabilísticas aplicadas às séries de dados para estimar a recorrência das cotas

(conclusão)

Distribuição probabilística	Parâmetros	Função densidade de probabilidade	Função de distribuição cumulativa
Log-Person tipo III	$\alpha$ – forma ( $>0$ ) $\beta$ – escala ( $\neq 0$ ) $\gamma$ - posição	$f(x) = \frac{1}{x \beta \Gamma(\alpha)} \left(\frac{\ln(x)-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{\ln(x)-\gamma}{\beta}\right)$	$F(x) = \frac{\Gamma(\ln(x)-\gamma)/\beta(\alpha)}{\Gamma(\alpha)}$
Normal	$\sigma$ – escala ( $>0$ ) $\mu$ - posição	$f(x) = \frac{\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right)}{\sigma\sqrt{2\pi}}$	$F(x) = \Phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)$
Log-Normal	$\sigma$ – escala ( $>0$ ) $\mu$ - posição	$f(x) = \frac{\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right)^2\right)}{x\sigma\sqrt{2\pi}}$	$F(x) = \Phi\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right)$
Gama	$\alpha$ – forma ( $>0$ ) $\beta$ – escala ( $>0$ ) $\gamma$ - posição ( $=0$ )	$f(x) = \frac{x^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \exp(-x/\beta)$	$F(x) = \frac{\Gamma_{x/\beta}(\alpha)}{\Gamma(\alpha)}$
Log-Gama	$\alpha$ – forma ( $>0$ ) $\beta$ – escala ( $>0$ )	$f(x) = \frac{(\ln(x))^{\alpha-1}}{x\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \exp(-\ln(x)/\beta)$	$F(x) = \frac{\Gamma_{\ln(x)/\beta}(\alpha)}{\Gamma(\alpha)}$
Gumbel máx.	$\sigma$ – escala ( $>0$ ) $\mu$ - posição	$f(x) = \frac{1}{\sigma} \exp(-z - \exp(-z))$	$F(x) = \exp(-\exp(-z))$ quando: $z \equiv \frac{x-\mu}{\sigma}$

Fonte: (MATHWAVE, 2014).

#### 5.4. ELABORAÇÃO DO MODELO DE PREVISÃO DAS INUNDAÇÕES EM ESTRELA

Tendo em vista os testes realizados em paralelo, optou-se pela concepção do modelo de previsão das inundações na região plana do Vale do Taquari, especificamente no município de Estrela, através do método de regressão linear



múltipla. Este estabelece uma relação entre uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes, consideradas explicativas (TUCCI, 2002; NAGHETTINI; PINTO, 2007).

A variável dependente corresponde às cotas máximas dos eventos de inundações ocorridos no município de Estrela. Portanto, trabalhou-se com séries de dados parciais, o que significa que pode haver a inclusão de mais do que um registro no mesmo ano na análise, diferentemente das séries anuais.

Partindo da série da variável dependente, coletaram-se as variáveis explicativas. Foram utilizadas, primeiramente, as séries de cotas de seções a montante de Estrela, com disponibilidade de dados no mesmo período, sendo encontradas para este fim, dados junto aos municípios de Encantado e Muçum. Testou-se, então, a inclusão das séries de cotas ocorridas no dia do evento de Estrela, no dia anterior e referente ao valor máximo registrado durante o evento.

Posteriormente, na tentativa de melhorar a qualidade da previsão, foi avaliado o desempenho do modelo com a inclusão da série de dados da precipitação média ocorrida na sub-bacia de Estrela em cada evento como variável explicativa.

Para esta análise, elaboraram-se séries de precipitação média com variação do período de acúmulo antecedente (volume de chuva acumulado em um determinado período – “x” dias), ou seja, variou-se em 1, 2, 3, 4 e 5 dias anteriores ao evento. De forma preliminar, testou-se o uso da precipitação acumulada em um período superior a 5 dias, porém não encontraram-se alterações de comportamento para o modelo pretendido.

Para tal, foi aplicado o método dos triângulos de Thiessen. A seleção das estações pluviométricas utilizadas para composição do valor médio levou em conta o fato de a mesma estar operando atualmente, visando possibilitar um futuro uso, se necessário. Desta forma, foram identificadas 15 situações de distribuição espacial das estações com dados de precipitação na sub-bacia.

Diante das informações de entrada para aplicação da modelagem, foram testadas todas as combinações possíveis com as variáveis explicativas supracitadas. Teve-se como propósito obter uma previsão mais precisa, uma vez que a onda da cheia não se propaga sempre de forma linear.

Todos os procedimentos de cálculos foram realizados no *software* Excel, com o uso do suplemento Action (ESTATCAMP, 2014a), e da ferramenta Análise de Dados. O suplemento Action dispõe de uma ferramenta que realiza automaticamente

a modelagem de regressão linear, apresentando as informações estatísticas necessárias para a tomada de decisão da função mais adequada aos dados inseridos.

A verificação da influência das variáveis explicativas e utilização das mesmas no modelo, decorreu da análise de variância – ANOVA. Através desta é possível identificar o grau de associação entre as variáveis, e se estatisticamente é significativa a inclusão das variáveis na função para estimar a variável dependente.

Resumidamente, a contribuição de cada variável explicativa foi verificada através dos resultados do “p-valor”, considerando um nível de confiança de 95% (nível de significância de 5%). Assim, definiram-se as variáveis que compuseram o modelo de estimativa das inundações em Estrela, considerando, também, algumas medidas de qualidade, bem como a equação do modelo que melhor se ajusta aos dados.

A definição do melhor modelo obtido para aplicação na previsão de inundações decorreu da avaliação das medidas de qualidade calculadas para cada modelo e do princípio da parcimônia. Adotaram-se as seguintes medidas: coeficiente de determinação ( $R^2$ ); coeficiente de correlação de Pearson (R); erro quadrático médio (EQM); erro padrão (EP) e coeficiente de Nash- Sutcliffe.

Cada método de modelagem apresenta restrições de aplicação, sendo essas as particularidades de cada um. As hipóteses da regressão linear são: a *linearidade* entre as variáveis utilizadas; a *normalidade* da variável  $x$  em relação à  $y$ ; e a *homoscedasticidade* dos resíduos. As últimas somente podem ser verificadas a partir dos resíduos do modelo. A homoscedasticidade consiste em considerar que estes os dados são derivados de uma variável aleatória independente, com média zero e variância constante (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Desta forma, os dados do melhor modelo encontrado foram submetidos a diversos testes estatísticos, que possibilitaram a verificação das hipóteses citadas. Tais testes também foram aplicados com auxílio da ferramenta de diagnóstico de erros do suplemento *Action* no *Excel*.

Avaliou-se a normalidade através do teste de hipótese de KS aplicado aos resíduos do modelo, considerando um nível de significância de 5%. Enquanto a homoscedasticidade foi avaliada pelo teste de Breusch-Pagan, complementado pelo teste de Durbin-Watson, que detecta a presença de dependência nos resíduos.

Também, verificou-se o intervalo de confiança dos coeficientes do modelo de regressão, para 2,5 % e 97,5 % (ESTATCAMP, 2014b).



## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS HIDROLÓGICOS

A coleta dos dados hidrológicos iniciou pelo Hidroweb, onde listaram-se todas as estações fluviométricas e pluviométricas cadastradas na bacia hidrográfica Taquari-Antas, cujo código no sistema é 86. Partindo desta pesquisa, realizou-se uma avaliação preliminar da existência de disponibilidade de dados em cada uma das estações, identificando o período disponível. Os resultados estão expostos nas Apêndices A e B, para os dados fluviométricos e pluviométricos, respectivamente.

Esta etapa foi essencial para a verificação da distribuição espacial das estações que continham dados fluviométricos (cota e vazão) e pluviométricos na bacia hidrográfica. É importante mencionar, novamente, que os dados fluviométricos disponíveis no Hidroweb são coletados por meio de réguas linimétricas e os dados pluviométricos através de pluviômetros, portanto, as observações possuem um intervalo diário.

Tendo em vista que o alvo principal deste estudo é o município de Estrela, verificou-se que, nos dados fluviométricos disponíveis no Hidroweb, havia somente informações de cotas desta estação. Esta situação também foi verificada nas principais estações a montante desta, no rio Taquari. Portanto, em virtude da inexistência de informações de vazões, este estudo teve seu desenvolvimento com enfoque nos dados de cotas. Este fato dificulta algumas avaliações, pois as cotas coletadas pela ANA não estão vinculadas a um mesmo referencial, bem como ao nível do mar.

Com relação à série temporal de cotas do município de Estrela disponível no Hidroweb, identificou-se que esta contém muitas falhas, e possui somente os valores médios diários, ocultando a cota máxima ocorrida. Desta forma, através das outras fontes de dados, este trabalho contou com dados auxiliares.

A série de dados do DEPREC, que se refere às observações do Porto Fluvial, foi cedida em planilha digital com os dados coletados até o ano de 2003, discretizados em 3 a 4 leituras diárias. Para completar a série de dados, o Porto Fluvial permitiu o acesso aos cadernos de registros destas informações do período posterior a 2003, conforme demonstrado pela Figura 8. Portanto, foi necessário

digitalizar todos estes dados diários, bem como os registros mais detalhados que foram realizados durante os eventos de inundação.

Figura 8 – Fotocópia do caderno de registro das cotas do rio Taquari pelo Porto Fluvial de Estrela

MARÇO 2003					ABRIL 2003V				
DATA	COTA	COTA	COTA	COTA	DATA	COTA	COTA	COTA	COTA
DIA MÊS	00:00	06:00	12:00	18:00	DIA MÊS	00:00	06:00	12:00	18:00
23 03	13.00	13.00	13.00	13.00	11 04	12.90	12.90	13.00	13.00
24 03	13.00	13.00	13.00	13.00	12 04	12.90	12.90	12.90	12.90
25 03	13.00	13.00	13.00	13.00	13 04	12.90	12.90	12.90	12.90
26 03	13.00	13.00	13.00	13.00	14 04	13.00	13.00	12.90	12.90
27 03	13.00	13.00	13.00	12.90	15 04	13.00	13.00	12.90	12.90
28 03	13.00	13.00	13.00	13.00	16 04	13.00	13.00	12.90	12.90
28 03	13.00	13.00	13.00	13.00	17 04	13.00	13.00	12.90	12.90
30 03	13.00	13.00	13.00	13.00	18 04	13.00	13.00	12.90	12.90
31 03	13.00	13.00	13.00	13.00	19 04	13.00	13.00	13.00	13.00
					20 04	13.00	13.00	13.00	13.00
					21 04	13.00	13.00	13.00	13.00
					22 04	13.00	13.00	13.00	13.00
					23 04	13.00	13.00	13.00	12.90
					24 04	12.90	12.90	12.80	12.85
					25 04	12.80	12.80	12.83	12.81
					26 04	12.83	12.85	12.90	12.90
					27 04	12.90	12.88	12.80	12.85
					28 04	12.90	12.88	12.90	12.92
					29 04	12.90	12.90	12.90	12.95
					30 04	12.95	13.25	13.65	13.98
ABRIL 2003V									
DATA	COTA	COTA	COTA	COTA					
DIA MÊS	00:00	06:00	12:00	18:00					
01 04	13.00	13.00	13.00	12.80					
02 04	12.90	12.90	12.90	12.90					
03 04	12.90	12.90	13.00	13.00					
04 04	13.00	13.00	13.00	13.00					
05 04	13.00	13.00	13.00	13.00					
06 04	13.00	13.00	13.00	13.00					
07 04	13.00	13.00	13.00	13.00					
08 04	12.80	12.80	12.90	12.90					
09 04	12.80	12.80	13.00	12.90					
10 04	12.90	12.90	12.90	12.90					

Fonte: (registrado pelo autor).

É importante mencionar que neste município o rio extravasa o canal principal após a cota de 19 m (ECKHARDT et al., 2009), sendo o nível de 13 m considerado como a referência da régua linimétrica, estando relacionado ao nível médio do mar.

Os dados cedidos pelo Centro de Informações Hidrometeorológicas do Centro Universitário UNIVATES (CIH) são referentes aos registros das cotas máximas atingidas nos maiores eventos em Estrela e Encantado. Esses registros foram coletados pelos equipamentos do antigo sistema de monitoramento da instituição, e através de leitura das régua linimétricas situadas nos municípios. Nestes registros encontrou-se dados históricos das cotas máximas em Estrela, anteriores ao início do monitoramento do Porto Fluvial.

De posse de todos os dados citados, elaborou-se uma ampla e consistente série temporal das cotas do rio Taquari no município de Estrela, a qual foi utilizada no decorrer deste estudo. Quanto à série de cotas máximas, utilizada em algumas etapas, procurou-se a real cota máxima que se teve conhecimento em cada ano, sob a ótica de todas as bases de dados. Esta série foi elaborada a partir do ano de 1980, período que se tem o detalhamento dos dados, pois o Porto Fluvial começou a operar somente em 1977.

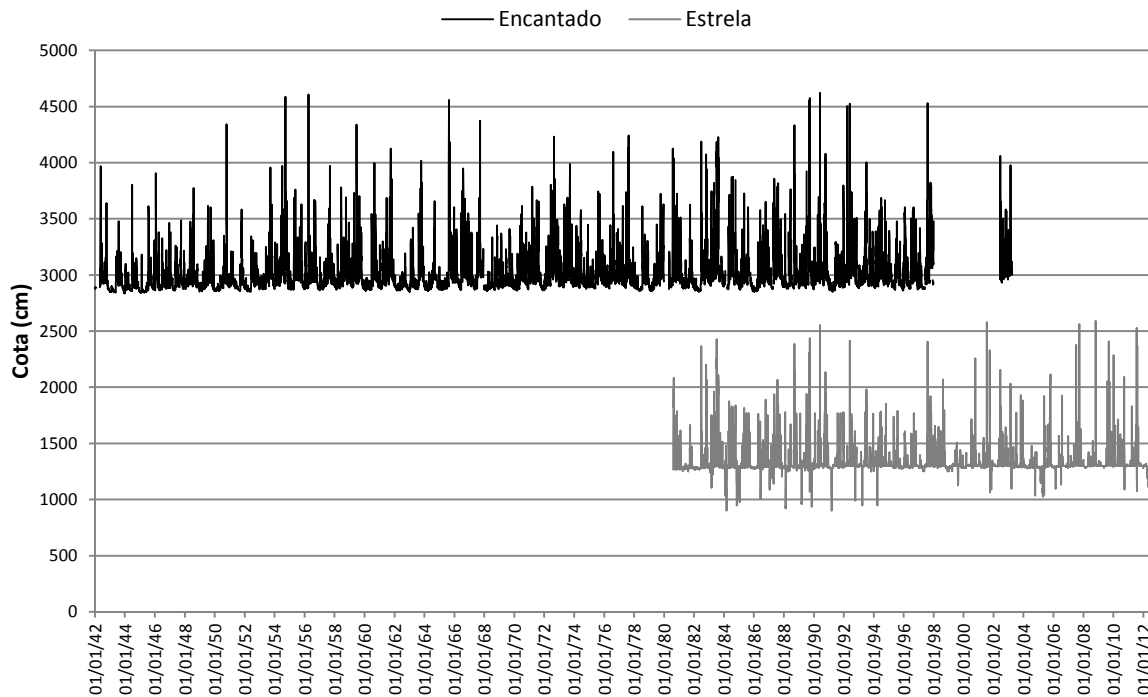
Os dados históricos das cotas máximas dos eventos que ocorreram antes da operação do Porto Fluvial foram separados para possível uso futuro em alguma avaliação, uma vez que os registros históricos podem conter informações relevantes, podendo auxiliar na melhor representação do comportamento da variável no local em questão (TUCCI et al., 2009).

Ainda, nestas bases de dados havia informações sobre as cotas de Encantado, com detalhamento da elevação das cotas em alguns eventos de inundação, o que é de grande valia, uma vez que a estação de Encantado se localiza a montante de Estrela e monitora o rio Taquari. Então, também, realizou-se uma comparação de todos os dados de cotas disponíveis e atualizou-se a série temporal da ANA, inserindo as maiores cotas que se tem conhecimento.

Sobre a série de Encantado, cabe destacar que a régua linimétrica da ANA está referenciada ao nível do mar na cota altimétrica de 27,77 m. Por isso há diferença nos valores de cotas das demais bases de dados, onde este valor está somado à elevação constatada na série da ANA, o que exigiu cuidado no manuseio das informações. Esta série de dados inicia em 1942 e segue até 1998 com dados consistentes, após este ano há muitas falhas nos dados coletados.

Todos os procedimentos citados tiveram como propósito aumentar a confiabilidade das análises, pois, senão, quando utilizadas somente as cotas máximas, estas estariam associadas, apenas, às médias do dia. A Figura 9 mostra as séries temporais de cotas máximas diárias de Estrela e Encantado, elaboradas conforme descrito, sendo que os dados de Encantado estão referenciados ao nível do mar para melhor representação. As demais séries de dados hidrológicos coletadas não serão apresentadas aqui de forma detalhada, mas suas origens decorrem do sistema da ANA (Apêndices A e B).

Figura 9 – Séries temporais de cotas máximas diárias de Estrela e Encantado



Fonte: (autor).

Ainda, no que se refere à coleta dos dados hidrológicos, buscou-se a existência de séries com intervalo temporal inferior a um dia. Verificou-se a disponibilidade deste tipo de informação no sistema de monitoramento da Univates, que começou a ser instalado em meados do ano de 2013. Estes dados foram cedidos para este estudo pelo CIH, uma vez que está disponível on-line e gratuitamente somente dados recentes no site <<http://netsenses.univates.br>>.

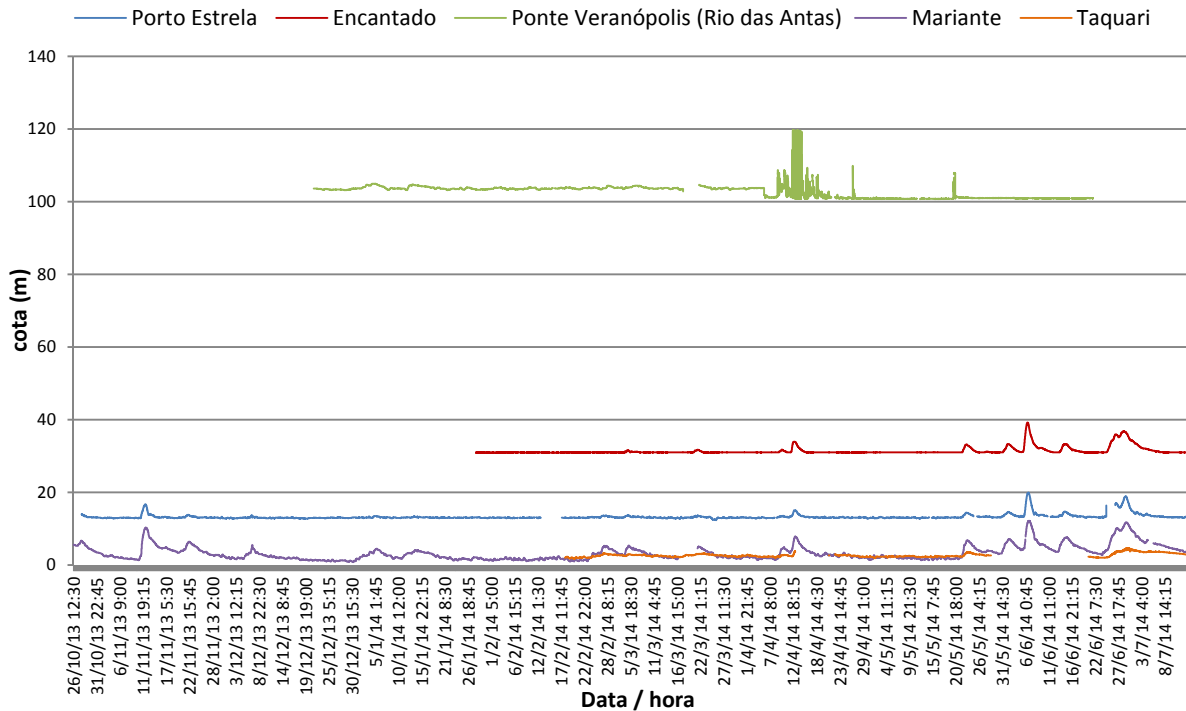
Embora esses dados sejam recentes, os mesmos foram coletados para utilização em alguma etapa do estudo. Houve necessidade de organização dos dados, em virtude da verificação de muita variabilidade do intervalo de coleta dos dados. Por exemplo, algumas estações fluviométricas começavam a coletar os dados a cada 5 min, outras a cada 15 min, 30 min ou 1 hora, não existindo um padrão de horários de coletas, em um longo período de tempo.

Por esta razão, não foi possível o uso de todos os dados e séries dos linígrafos, somente alguns trechos. Por conseguinte, das cinco estações fluviométricas situadas a montante de Estrela, somente duas apresentaram série de



dados consistente, porém com uma pequena representatividade (Encantado e Estrela) (Figura 10).

Figura 10 – Séries de dados de cota dos linígrafos do sistema de monitoramento da Univates



Fonte: (autor).

Quanto aos dados de precipitação pluviométrica, foram utilizados somente os disponíveis no Hidoweb, de forma consistida. Ao longo deste estudo, para cada análise, selecionaram-se as estações com dados, localizadas em pontos relevantes para obtenção de uma boa representatividade espacial da precipitação na estimativa da média. A Apêndice A destaca, dentre todas as estações cadastradas na ANA, quais foram utilizadas no presente estudo.

## 6.2. REDE DE MONITORAMENTO HIDROLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA TAQUARI-ANTAS

Considerando as recomendações da WMO, apresentadas e discutidas anteriormente, avaliou-se a densidade e distribuição espacial das estações da rede

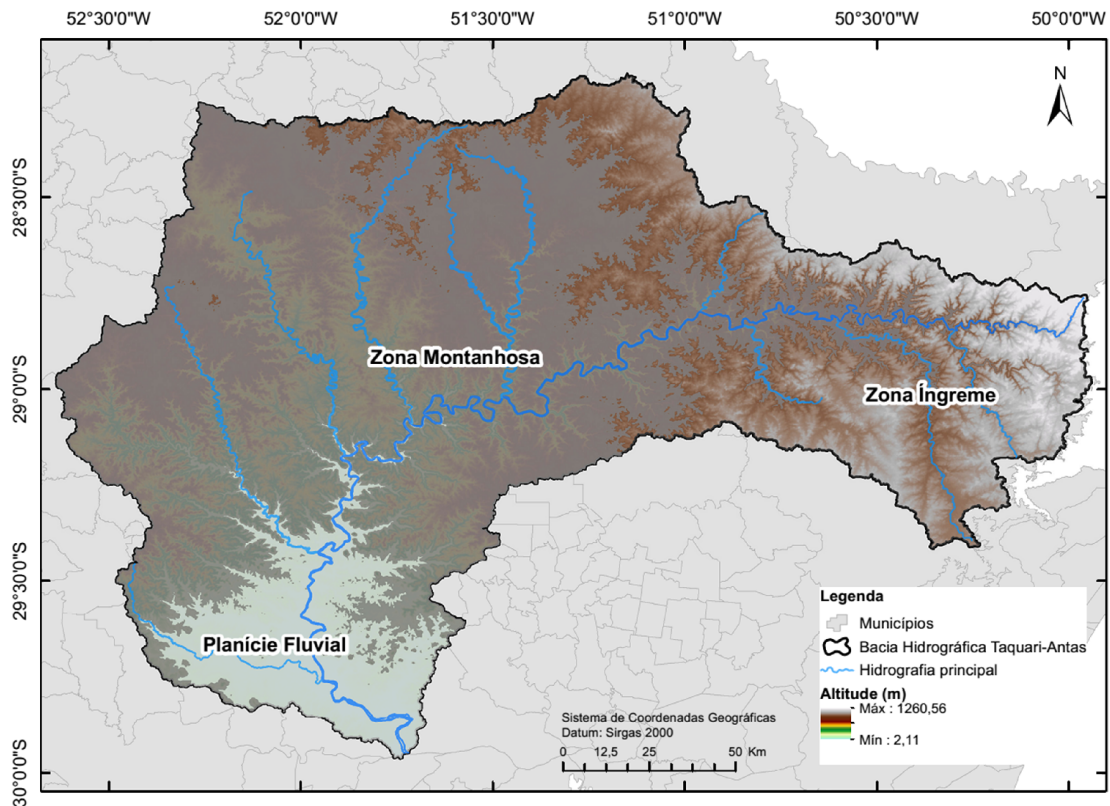
de monitoramento hidrológico da ANA, uma vez que esta instituição dispõe do maior banco de dados hidrológicos do país.

Para tal, a fim de comparações, subdividiu-se a bacia hidrográfica em 3 regiões análogas à zona montanhosa, zona íngreme e planície fluvial (Figura 11). Para isto, com base nas unidades do relevo do IBGE (2006), considerou-se como zona montanhosa a área compreendida entre as altitudes de 100 a 800 m e como íngreme acima de 800 m. Na Tabela 6 verifica-se a extensão de cada uma das regiões definidas e a quantidade de estações recomendadas pela WMO.

Conforme expressa a WMO (1994), regiões da classe montanhosa necessitam de uma densidade mais elevada de estações para o monitoramento mínimo. Assim, optou-se por considerar tal área, devido aos elevados desníveis altimétricos existentes. Esta, dentre as unidades de relevo brasileiro, refere-se aos patamares da Bacia do Paraná e parte dos campos do planalto das Araucárias; ou seja, representa uma região com formas colinosas e planas, sendo que nos trechos dos Aparados da Serra, há formas mais rebaixadas com morros testemunhos (IBGE, 1996). Portanto, caracteriza uma zona com muita variação da precipitação e dos níveis dos rios.

A zona íngreme, denominada pela WMO, foi considerada como a área localizada nas altitudes mais elevadas da bacia hidrográfica, porém com um desnível altimétrico não tão elevado (460 m). Esta área, no relevo brasileiro, compreende aos campos do Planalto das Araucárias, que conforme MMA (2009) refere-se a regiões altimétricas superiores a 800 m, compondo uma paisagem de mosaicos de campos entremeados por florestas. Por esta razão, não há necessidade de um monitoramento tão denso, quanto na área anterior (considerada montanhosa), então classificou-se como uma zona íngreme, no aspecto da WMO (1994).

Figura 11 – Limite das regiões fisiográficas definidas para a bacia hidrográfica Taquari-Antas



Fonte: (autor).

Tabela 6 – Características das regiões fisiográficas definidas para a bacia hidrográfica Taquari-Antas

Zona fisiográfica	Altitude (m)	Área (km <sup>2</sup> )	Recomendação rede mínima WMO	Nº estações recomendadas
<b>Íngreme</b>	800 - 1260,56	7051,43	1 Pluv. / 575 Km <sup>2</sup> 1 Fluv. / 1.875 Km <sup>2</sup>	12 Pluv. / 4 Fluv.
<b>Montanhosa</b>	100 – 800	16733,88	1 Pluv. / 250 Km <sup>2</sup> 1 Fluv. / 1.000 Km <sup>2</sup>	67 Pluv. / 17 Fluv.
<b>Planície Fluvial</b>	2,11 - 100	2672,65	1 Pluv. / 575 Km <sup>2</sup> 1 Fluv. / 1.875 Km <sup>2</sup>	5 Pluv. / 2 Fluv.

Fonte: (autor).

Inicialmente, realizou-se uma avaliação preliminar das estações de monitoramento cadastradas pela ANA na bacia hidrográfica Taquari-Antas, cujo código de referência nesta instituição é 86. Através da localização das mesmas, com

auxílio do *software* de geoprocessamento ArcGis, identificou-se que das 172 estações pluviométricas cadastradas, 5 encontram-se com as coordenadas geográficas equivocadas e 2 pertencem a outra bacia hidrográfica, ou seja, estão cadastradas erroneamente; sendo assim, há 170 estações cadastradas na ANA que pertencem à bacia hidrográfica Taquari-Antas. Quanto às estações fluviométricas apenas 1, das 164 cadastradas, apresenta equívoco na coordenada geográfica.

Os resultados da avaliação da densidade da rede de monitoramento da bacia hidrográfica Taquari-Antas, cuja área é de aproximadamente 26.500 Km<sup>2</sup>, são apresentados na Tabela 7. Nota-se que o número de estações pluviométricas e fluviométricas cadastradas no sistema da ANA superam as recomendações para uma rede mínima, sobretudo as fluviométricas, em todas as regiões fisiográficas.

Tabela 7 – Avaliação da rede de monitoramento da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas

	Nº estações de monitoramento			
	ANA		Rede mínima - WMO	
	Pluviométrica	Fluviométrica Cota Vazão	Pluviométrica	Fluviométrica
<b>Zona Íngreme</b>				
cadastradas	32	27		
mais de 5 anos com dados	17	12	3	
mais de 10 anos com dados	17	8	3	12
operando e mais de 10 anos com dados	4	2	1	4
<b>Zona Montanhosa</b>				
cadastradas	116	113		
mais de 5 anos com dados	46	29	13	
mais de 10 anos com dados	44	21	12	67
operando e mais de 10 anos com dados	9	7	6	17
<b>Planície Fluvial</b>				
cadastradas	22	24		
mais de 5 anos com dados	7	16	3	
mais de 10 anos com dados	5	14	3	5
operando e mais de 10 anos com dados	2	5	3	2
<b>Total</b>				
cadastradas	170	164		
mais de 5 anos com dados	70	57	19	
mais de 10 anos com dados	66	43	18	
operando e mais de 10 anos com dados	15	14	10	

Fonte: (autor).

Para as regiões equivalentes à zona íngreme e planície fluvial da WMO torna-se mais evidente esta situação; as estações pluviométricas cadastradas superam em mais de 200 % e 400 %, enquanto as fluviométricas em mais de 600 % e 1.000 %,

respectivamente. Isto indica que, se todas as estações estivessem em operação, haveria uma ótima disponibilidade de dados das variáveis hidrológicas.

Avaliando as estações pluviométricas, que apresentam uma série de dados com uma escala temporal de razoável à representativa, ou seja, um monitoramento por um período de tempo superior a 5 anos, verifica-se que em geral as recomendações para uma rede mínima são cumpridas, exceto na zona montanhosa.

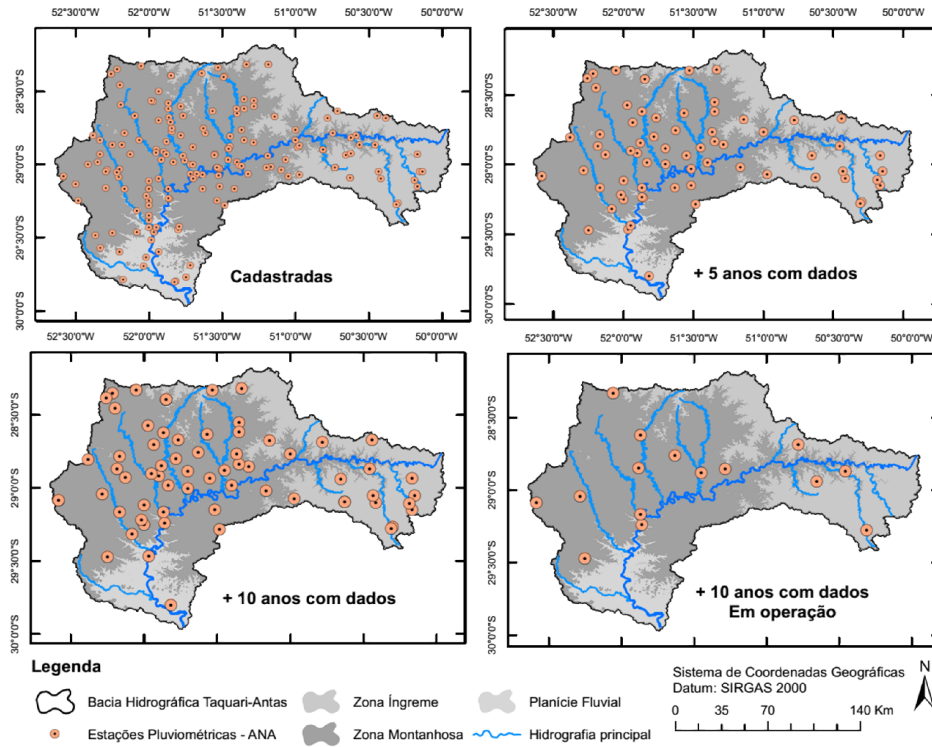
Considerando as estações que apresentam uma série de dados superior a 10 anos, verifica-se um déficit na composição da rede mínima somente na região montanhosa (atendendo somente 65 %). Este déficit é agravado quando se avalia a quantidade de estações que estão em operação e apresentam uma série de dados representativa (no mínimo 10 anos); nas 3 regiões fisiográficas o número de estações atende menos de 50 % da recomendação (13,43 % na zona montanhosa, 33 % na zona íngreme e 40 % na planície fluvial).

Com enfoque nas estações fluviométricas (Tabela 7), verifica-se que também há déficit de estações em operação atualmente com série de dados históricos representativa (mais de 10 anos). Das 17 estações fluviométricas recomendadas pela WMO (em função da área existente) para a zona montanhosa, há somente 7 nesta situação monitorando cota, e 6 vazão (atendendo 41,2 % e 32,3 %, respectivamente); e das 4 recomendadas para a zona íngreme, há 2 monitorando cota e 1 vazão. Em contrapartida, a região de planície atende as recomendações da WMO, excedendo o número de estações fluviométrica com monitoramento da cota e vazão.

De forma geral, há mais estações operando com monitoramento de cota (14) do que de vazão (10) e, embora em algumas zonas fisiográficas atende-se o critério da WMO, é notável que este número de estações para uma bacia hidrográfica de 26.500 Km<sup>2</sup> é muito pequeno.

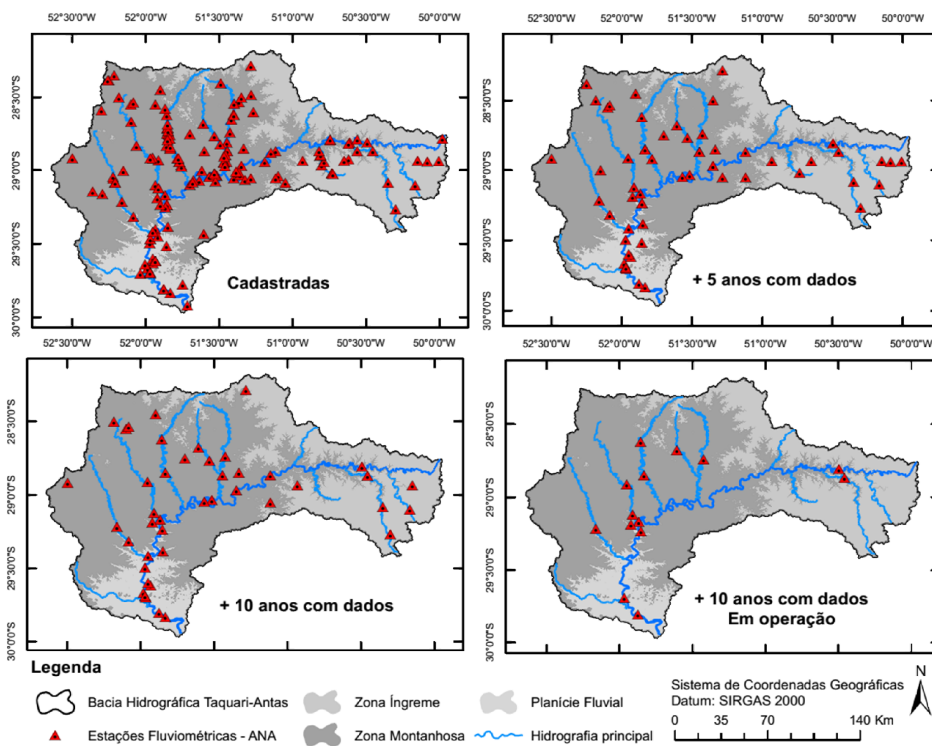
Diante do exposto, cabe ressaltar que a avaliação de uma rede de monitoramento também deve considerar a distribuição espacial das estações na bacia hidrográfica, ainda que a WMO não apresente destaque a este respeito. Nas Figuras 12, 13 e 14 são identificadas a localização das estações de monitoramento pluviométrico e fluviométrico (cota e vazão), respectivamente, conforme os critérios de análise estabelecidos.

Figura 12 – Localização e avaliação da rede de estações pluviométricas



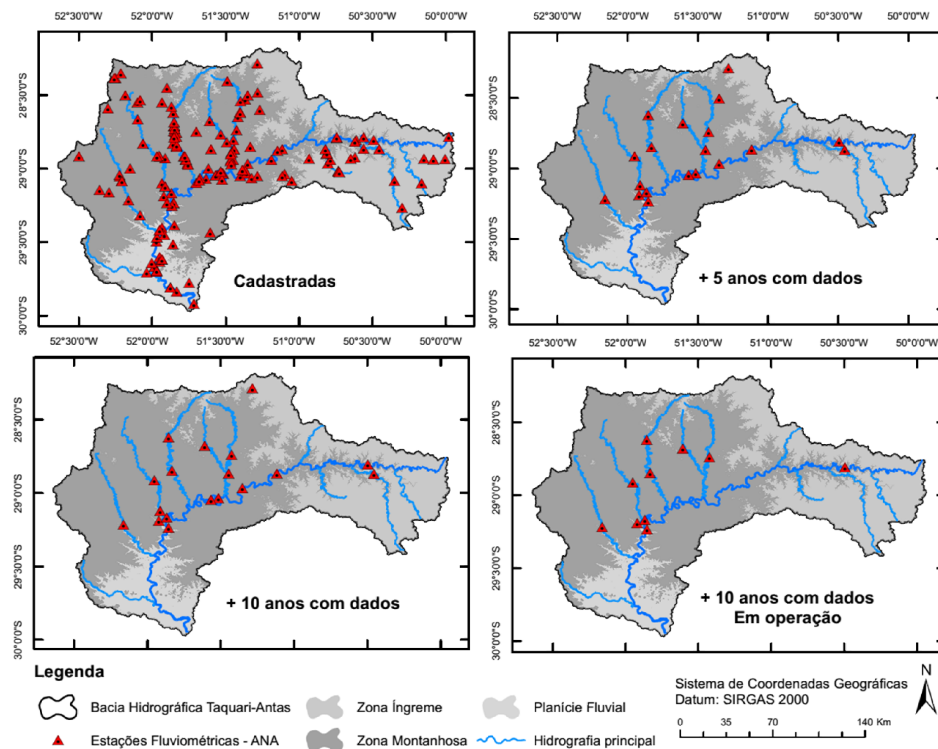
Fonte: (autor).

Figura 13 – Localização e avaliação da rede de estações fluviométricas – cota



Fonte: (autor).

Figura 14 – Localização e avaliação da rede de estações fluviométricas – vazão



Fonte: (autor).

Apesar da elevada densidade de estações cadastradas na ANA, superando as recomendações, percebe-se que espacialmente estas não se encontram bem distribuídas. Em partes da bacia hidrográfica há a concentração de muitas estações pluviométricas e fluviométricas; entretanto, principalmente, nas regiões limítrofes a quantidade é baixa, não atendendo, em alguns casos, a área de abrangência recomendada pela WMO para cada estação, conforme já mencionado (Tabela 6).

O monitoramento nestas regiões é de extrema importância para estudos hidrológicos, pois as mesmas consistem, normalmente, em regiões de cabeceiras, que possuem elevada contribuição na drenagem das águas pluviais que deságuam no exutório final da bacia.

Cabe aqui destacar os principais achados da distribuição espacial das estações de monitoramento que estão em operação e possuem uma série de dados superior a 10 anos. Em relação às estações pluviométricas (Figura 12), verificou-se que na região de planície fluvial ocorre a pior distribuição espacial das estações, se comparado com as demais regiões, e na região montanhosa, embora sob a óptica

da densidade também não atenda os requisitos, estas encontram-se bem espaçadas, com melhor cobertura do que na planície.

Avaliando as estações de monitoramento de cota (Figura 13), nota-se que na zona íngreme e planície há uma péssima distribuição das estações, sendo que na planície há um longo trecho do rio principal sem monitoramento e inclusive no exutório. Na zona montanhosa há pouco monitoramento no rio principal da bacia hidrográfica, havendo extensas regiões com déficit de cobertura e nos principais afluentes encontram-se distante dos exutórios.

Sobre o monitoramento da vazão (Figura 14), observam-se as mesmas dificuldades do monitoramento de cota, no entanto, a situação é agravada em virtude do número inferior de estações em operação e com série representativa, sobretudo na zona íngreme e na planície fluvial. Nesta última, percebe-se que o atendimento do quesito da densidade mínima não indica a existência de uma rede de monitoramento eficiente, já que as estações estão concentradas na mesma região e não há monitoramento no exutório da bacia, o que é imprescindível para estudos e projetos hidrológicos.

Resumidamente, identificou-se uma situação de má distribuição das estações de monitoramento ao longo da bacia hidrográfica, o que implica na aplicação de modelos hidrológicos, sobretudo quando se tem como foco a avaliação da formação e evolução das cheias e inundações. Na região mais plana da bacia hidrográfica, a qual é crítica para ocorrência de inundações, constatou-se um monitoramento fluviométrico praticamente inexistente; com destaque para a foz. Este fato dificulta avaliações mais aprofundadas e a implantação de sistemas de previsão eficazes e confiáveis.

Por fim, sugere-se que a jusante do município de Estrela (o que compreende a planície fluvial) sejam novamente colocadas em funcionamento, no mínimo, 8 estações de monitoramento de cota no rio Taquari (rio principal), cujo custo é mais viável do que de vazão. Também, na zona montanhosa este procedimento deveria ser realizado, já que no momento não há nenhuma estação em funcionamento ao longo do rio Taquari.



### 6.2.1. Considerações finais do item

Diante dos resultados apresentados, percebe-se que a rede de monitoramento hidrológico em operação pela ANA na bacia hidrográfica Taquari-Antas não atende os requisitos mínimos recomendados pela WMO, tanto referente à densidade quanto à distribuição espacial das estações.

Conforme destacado pela WMO (1994) uma rede de monitoramento de dados hidrológicos deve proporcionar informações suficientes para determinar as características hidrológicas e meteorológicas básicas em qualquer ponto da região, tendo em vista o uso de recursos como a interpolação de séries de dados.

Se todas as estações cadastradas (pluviométricas e fluviométricas) no sistema da ANA estivessem em ótimo funcionamento atualmente, a rede de monitoramento poderia ser considerada ótima, do ponto de vista da rede mínima, em função da densidade e distribuição espacial das estações. Cabe ressaltar que de nada adianta uma mobilização para o funcionamento das mesmas, se este ocorre em uma pequena duração, pois para a realização de estudos hidrológicos com resultados satisfatórios é fundamental a existência de séries de dados representativas, que incluam períodos importantes de oscilações da vazão.

Tendo em vista a temática central deste estudo, inundações, a existência de séries de dados com representatividade espaço-temporal é de extrema importância. Estas poderiam subsidiar avaliações focadas na mitigação dos impactos causados pelas inundações, nas localidades que enfrentam problemas recorrentes derivados destes eventos, como as áreas de planícies das bacias hidrográficas. Cita-se, neste sentido, a identificação dos afluentes com maior contribuição no rápido aumento da vazão destas localidades e elaboração de modelos de previsão em tempo real.

As limitações atuais na existência de séries históricas de dados hidrológicos, decorrentes da rede de monitoramento, dificulta a aplicação de medidas de controle, tanto estruturais quanto não estruturais, das inundações. Para suprir esta carência opta-se pelo maior uso de interpolações, o que nem sempre confere resultados satisfatórios ou avaliações mais subjetivas, agregando indiretamente maior grau de incertezas.

### 6.3. COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA TAQUARI-ANTAS

Para a proposição de um adequado modelo de previsão de cheias na região de estudo, é imprescindível o entendimento do comportamento hidrológico da bacia hidrográfica. Os próximos subitens buscam demonstrar, através de diversas análises, o comportamento hidrológico e a relação com as inundações da bacia hidrográfica Taquari-Antas.

#### 6.3.1. Avaliação morfométrica

As características físicas e de drenagem de uma bacia hidrográfica (ou sub-bacia) podem indicar a pré-disposição da mesma à ocorrência de inundações, apesar deste tipo de avaliação não possuir nenhuma relação com os aspectos físicos do sistema envolvidos na região hidrográfica. A Tabela 8 expõem os resultados das principais características físicas e parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica Taquari-Antas.

Tabela 8 – Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica Taquari-Antas

	<b>Característica</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor</b>
Dados básicos	Área	Km <sup>2</sup>	26458,23
	Perímetro	Km	1180,45
	Comp. da drenagem *	Km	15284,98
	Altitude máxima	m	1260,56
	Altitude mínima	m	2,11
	Amplitude altimétrica	m	1258,45
Parâmetros morfométricos	Índice de conformação (Kf)	-	0,55
	Índice de compacidade (kc)	-	2,03
	Índice de circularidade (Ic)	-	0,23
	Densidade de drenagem (Dd)*	Km/Km <sup>2</sup>	0,57

\*escala 1:250.000

Fonte: (autor).

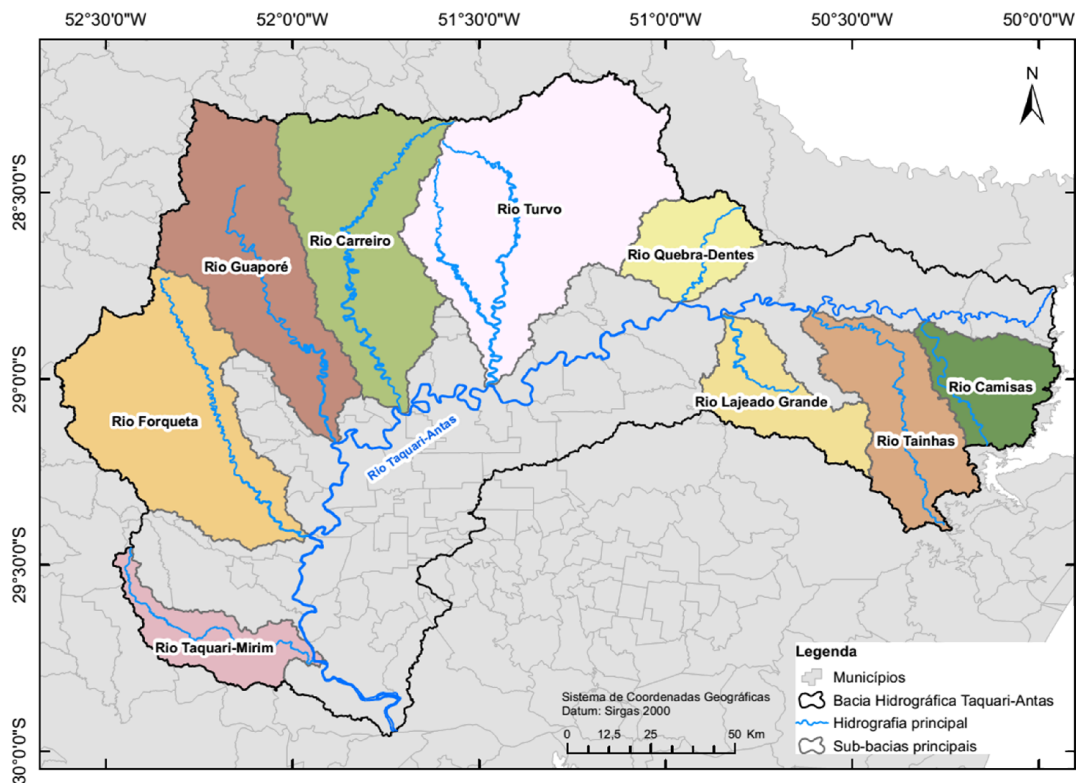
A bacia em questão apresenta uma elevada extensão e amplitude altimétrica, o que possibilita a existência de diversas microrregiões diferentes topograficamente

no seu interior. A forma da bacia é enquadrada em alongada, o que é comprovado pelos valores dos índices de conformação ( $K_f = 0,55$ ) e circularidade ( $I_c = 0,23$ ), bem como do índice de compacidade ( $K_c = 2,03$ ).

Bacias com forma alongada ( $K_f$  médio,  $K_c$  alto e  $I_c$  baixo) apresentam menor tendência a ocorrência de chuvas intensas sobre toda a sua extensão ao mesmo tempo, pois a contribuição dos afluentes atinge o rio principal em vários pontos (VILLELA; MATTOS, 1975). Sendo assim, têm menor pré-disposição a inundações.

Avaliou-se, também, a morfologia das principais sub-bacias da bacia hidrográfica Taquari-Antas. Com intuito de identificar a sub-bacia que apresenta maior contribuição no desenvolvimento das inundações na região do vale do Taquari, principalmente na faixa dos municípios de Muçum, Encantado e Estrela, alvo principal deste estudo. A Figura 15 expõe os principais rios afluentes do rio Taquari-Antas, bem com a delimitação das sub-bacias destes, das quais foram extraídas as características básicas e os parâmetros morfométricos (Tabela 9).

Figura 15 – Localização das principais sub-bacias da bacia hidrográfica Taquari-Antas



Fonte: (autor).

Tabela 9 - Parâmetros morfométricos das principais sub-bacia da bacia hidrográfica Taquari-Antas

Característica	Unidade	Sub-bacia do rio:									
		Taquari-Mirim	Forqueta	Guaporé	Carreiro	Turvo	Quebra-Dentes	Lajeado-Grande	Tainhas	Camisas	
Dados básicos	Área	Km <sup>2</sup>	794,18	2843,88	2490,70	2565,23	3777,00	796,48	945,53	1452,10	893,08
	Perímetro	Km	205,80	315,44	323,73	312,87	354,14	139,29	200,04	254,68	163,31
	Comp. da drenagem	Km	426,80	1585,87	1588,13	1649,46	2787,40	494,17	501,01	877,42	444,96
	Altitude máxima	m	662,77	814,11	824,44	921,22	978,11	1012,67	1039,33	1049,40	1211,22
	Altitude mínima	m	6,00	21,55	44,88	80,11	165,44	363,44	403,33	537,88	666,33
	Amplitude altimétrica	m	656,77	477,80	779,56	841,11	812,67	649,23	636,00	511,56	544,89
Parâmetros morfométricos	Índice de conformação (Kf)	-	0,21	0,35	0,21	0,32	0,38	0,60	0,24	0,25	0,54
	Índice de compacidade (kc)	-	2,04	1,65	1,81	1,72	1,61	1,38	1,82	1,87	1,35
	Índice de circularidade (Ic)	-	0,24	0,35	0,28	0,33	0,37	0,51	0,29	0,28	0,42
	Densidade de drenagem (Dd)*	Km/ Km <sup>2</sup>	0,53	0,55	0,63	0,64	0,73	0,62	0,53	0,60	0,49

\*escala 1:250.000

Fonte: (autor).

A partir das características básicas, verifica-se que a sub-bacia do rio Turvo apresenta maior área e, conseqüentemente, maior perímetro e comprimento da drenagem. A influência deste resultado está atrelada ao volume de água que deságua no curso principal, que será maior em função da maior área, contribuindo para o aumento da vazão e inundações, conforme destaca Oliveira, Guasselli e Sandanha (2010).

No entanto, a maior amplitude altimétrica é verificada na sub-bacia do rio Carreiro, que localiza-se mais próxima da região de interesse neste estudo. Esta característica influencia na velocidade com que ocorrerá o escoamento, sendo que quanto maior a amplitude mais rápido ocorre o deslocamento da água e isto tem relação com o efeito a jusante que produzirá.

Analisando os parâmetros morfométricos de todas as sub-bacias, pode-se inferir que estas não apresentam forma circular, tendendo serem bacias alongadas, ou seja, com pouca potencialidade a inundações. Tal fato é comprovado pelos valores do Kf distarem de 1,00 (variando entre 0,21 e 0,60); do Kc serem superior a 1,00 (variando entre 1,35 e 1,72) e do Ic inferior à 1,00 (variando entre 0,29 e 0,51) (CHRISTOFOLETTI, 1969; VILELLA; MATTOS, 1975).

Apesar desta generalidade, as sub-bacias do rio Quebra-Dentes, Camisas e Turvo apresentam os maiores valores dos Kf e Ic e menores do Kc; assim, possuem maior tendência à circularidade, tendo em vista uma comparação entre elas. Desta forma, em função da morfometria, está atrelada a estas uma maior capacidade de influência na ocorrência de inundações ao longo do rio principal Taquari-Antas.

As sub-bacias do rio Turvo, Carreiro e Guaporé possuem os maiores valores de Dd do que as demais (considerando a escala 1:250.000), inferindo que estas possuem um grau maior de desenvolvimento de drenagem. Por serem melhores drenadas, maior é a velocidade com que a água atinge o rio, auxiliando nos efeitos das inundações naquela sub-bacia, e sequencialmente, a jusante. Ressalta-se que as sub-bacias do rio Carreiro e Guaporé deságuam entre os municípios de Encantado e Muçum, no Vale do Taquari.

Todas as sub-bacias apresentaram valores de Dd entre 0,49 a 0,73 Km/Km<sup>2</sup> e, embora as citadas anteriormente tiveram os maiores índices. Considerando a classificação de Villela e Mattos (1975), todas possuem uma drenagem pobre, pois enquadra como bem drenada quando tem uma Dd ao redor de 3,5 Km/Km<sup>2</sup> e com drenagem pobre Dd igual a 0,5 Km/Km<sup>2</sup>. No entanto, não é especificada a escala a ser utilizada para aplicar estes valores de referência, então há uma incerteza na classificação. Por conseguinte, na área de estudo, incluindo a avaliação visual, os valores encontrados definem uma bacia hidrográfica com boa drenagem.

Conforme a caracterização apresentada pelo PBTA (2011), a maior parte da bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas é constituída por rochas vulcânicas, definindo solos argilosos e uma topografia em degraus. A parte mais ao sul (planície fluvial) possui solos arenosos com relevo moderado. Christofolletti (1969) diz que os valores elevados da Dd indicam áreas com pouca infiltração e melhor esculturação dos canais. Assim, as sub-bacias em questão pela caracterização deveriam apresentar uma drenagem mais significativa.

Tendo em vista a morfometria das sub-bacias, pode-se inferir que a sub-bacia do rio Turvo tem maior influência na evolução das inundações dos municípios do Vale do Taquari em análise. Na sequência, verifica-se a relevância da contribuição das sub-bacias do rio Carreiro e Guaporé, devido à densidade de drenagem e proximidade da região de análise, embora a característica da forma alongada.

Partindo dos resultados encontrados, considerando apenas as características físicas, a bacia hidrográfica Taquari-Antas possui pouca potencialidade à ocorrência de inundações. Entretanto os dados fluviométricos observados, principalmente na região mais plana, deixam evidente a problemática das inundações recorrente na bacia hidrográfica, o que confirma a ressalva apresentada por Christofolletti (1969) sobre a importância da associação das características físicas com o conhecimento real da região.

Os achados ressaltam a importância da existência de um bom monitoramento fluviométrico na região em questão. As sub-bacias hidrográficas são sistemas muito heterogêneos, em todos os sentidos (extensão, variação de altitude, etc.), em função da gama de aspectos que influenciam no seu comportamento, o que dificulta a expressão da sua dinâmica em índices ou coeficientes únicos.

Desta forma, avaliando visualmente a bacia hidrográfica Taquari-Antas (Figura 15) percebe-se que esta tem uma forma próxima à circular, contrariando a avaliação morfométrica e evidenciando a problemática de inundações existente na região. Considerando as características apresentadas de PBTA (2011), também é possível afirmar que o escoamento das regiões mais íngremes, até chegar à planície, ocorre de forma rápida e veloz (solos argilosos em grande parte da extensão). Então, a avaliação visual das sub-bacias infere que a bacia hidrográfica é propensa à rápida elevação do rio principal em eventos de chuvas intensas.

Na margem esquerda do rio Taquari-Antas os tributários tem menor contribuição na drenagem, em função do tamanho, declividade e formato das sub-bacias que compõe. Em contrapartida, as sub-bacias da margem direita possuem elevada influência na contribuição da vazão do rio principal. A maioria dos cursos d'água destas sub-bacias tem, praticamente, a mesma extensão, constituindo sub-bacias análogas.

Em vista disso, fica evidente que toda a drenagem contribuinte atinge o rio Taquari-Antas quase ao mesmo tempo, refletindo principalmente na região mais

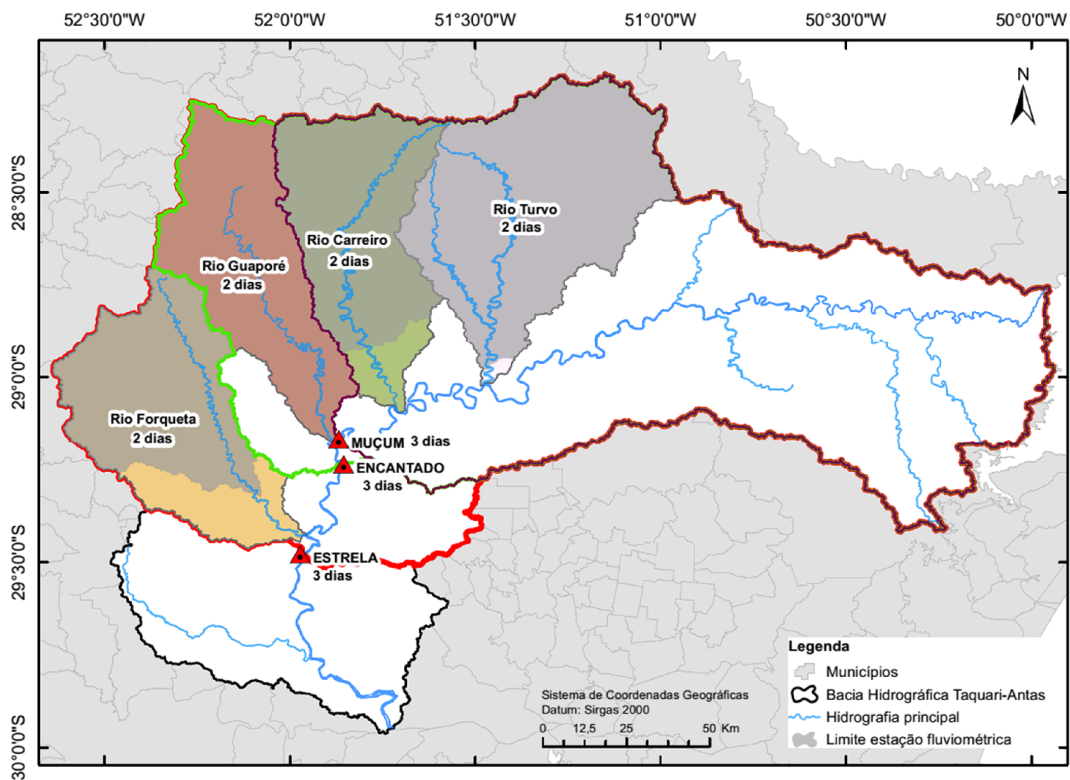
plana da bacia hidrográfica, próximo ao exutório. É nesta região que ocorre com maior recorrência o extravasamento das águas do rio principal.

### 6.3.2. Análise do tempo de concentração

Tendo em vista o processo de formação das inundações no Vale do Taquari, avaliou-se o tempo de concentração das principais sub-bacias contribuintes e das principais estações com dados a montante do município de Estrela.

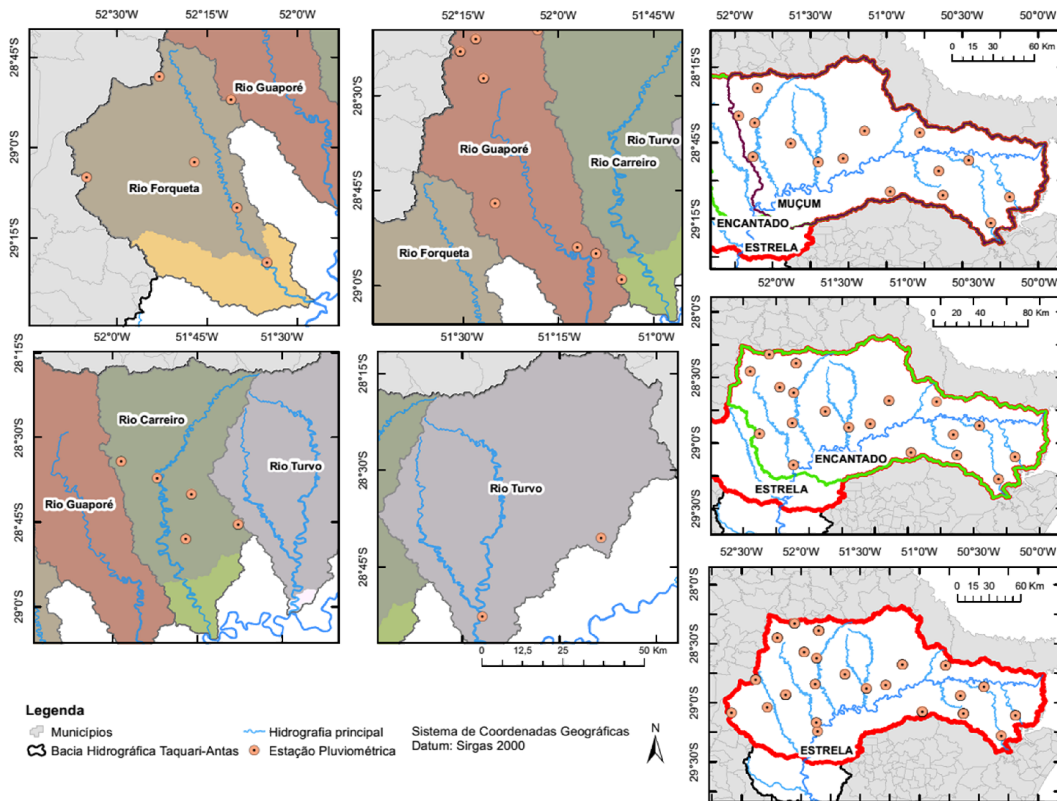
Em virtude da disponibilidade de dados fluviométricos próximos aos exutórios, somente foi possível avaliar 4 sub-bacias principais em 3 pontos de monitoramento (Figura 16). A partir da disponibilidade dos pluviômetros (Figura 17), em diferentes configurações, obtiveram-se os resultados expostos na Tabela 10, através da análise gráfica de diversos eventos de elevação de cotas com a precipitação média ocorrida na sub-bacia. Para complementar a análise, quando existentes dados de vazão, avaliou-se a vazão média de longo período da seção fluviométrica (Qmlp).

Figura 16 - Localização dos pontos de avaliação do tempo de concentração



Fonte: (autor).

Figura 17 – Estações pluviométricas utilizadas para estimar o tempo de concentração



Fonte: (autor).

Nota-se que nos 3 municípios localizados ao longo do rio Taquari-Antas, o tempo de concentração obtido foi igual a 3 dias, indicando que o pico da onda da cheia, entre eles, desloca-se em um período inferior a um dia. Nas sub-bacias o tempo de concentração é de 2 dias, situação que agrega preocupação, pois isto evidencia que as águas das sub-bacias chegam praticamente ao mesmo tempo no rio principal, favorecendo a condição para ocorrência de inundações.

Cabe ressaltar que o intervalo de coleta de dados da ANA é de um dia, portanto, não é possível identificar com precisão o tempo de concentração e, assim, os valores iguais para as seções fluviométricas ao longo do rio principal são coerentes. Destaca-se que os valores encontrados foram arredondados, em virtude dos dados coletados serem diários.



Tabela 10 – Resultados da estimativa do tempo de concentração das sub-bacias principais e estações com dados a montante de Estrela

Sub-bacia												
	Taquari-Mirim*	Forqueta*	Guaporé	Carreiro*	Turvo	Tainhas*	Lajeado-Grande*	Camisas*	Quebra-Dentes*	Estrela*	Encantado	Muçum
Estação fluviométrica analisada												
	-	Marques de Souza	Santa Lúcia	Linha Emília	UHE Monte Claro Balsa do Prata	-	-	-	-	Porto Fluvial	Encantado	Muçum
Tempo de concentração (dias)	-	2,00	2,00	2,00	2,00	-	-	-	-	3,00	3,00	3,00
Qmlp (m³/s)	-	-	67,08	-	103,80	-	-	-	-	-	467,16	379,16
Disponibilidade dados vazão (anos)	-	-	71,83	-	3,30	-	-	-	-	-	73,04	74,83

\*indisponibilidade / insuficiência de dados fluviométricos (cota e/ou vazão) próximo ao exutório

Fonte: (autor).

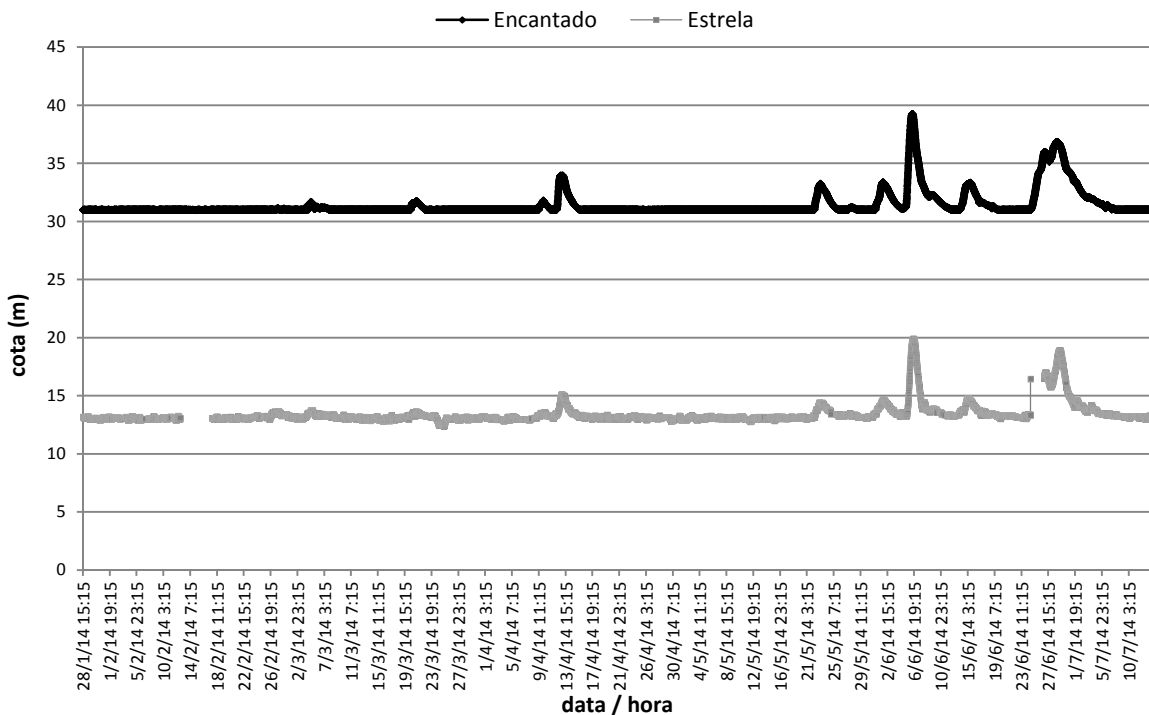
Para verificação da coerência de igualdade dos tempos de concentração, utilizaram-se os dados dos linígrafos da Univates, instalados recentemente, cujo intervalo dos dados é de 15 minutos, onde, através de eventos selecionados, analisou-se o tempo de deslocamento do pico da cheia entre as seções fluviométricas. Porém, somente entre os municípios de Encantado e Estrela, haviam dados em período simultâneo para a realização desta análise, no entanto, mesmo assim, compreenderam um período muito curto ( $\approx 6$  meses) (Figura 18).

Entre esses municípios, obteve-se uma diferença de tempo entre os picos das cheias de 4 horas, em média. Sendo assim, comprova-se a coerência dos resultados obtidos por meio dos dados da ANA, uma vez que o tempo de deslocamento do pico entre os municípios de Muçum, Encantado e Estrela é inferior a um dia.

Os achados evidenciam a problemática da região do Vale do Taquari quanto à ocorrência de inundações, pois as sub-bacias principais desaguam praticamente

ao mesmo tempo no rio Taquari-Antas (com oscilação de horas) e ao longo deste rio, sobretudo entre os municípios da região mais plana, a onda da cheia se desloca rapidamente. Isto reforça a necessidade de um modelo de previsão das cheias e inundações que não se baseie, apenas, no pico ocorrido no município de Encantado.

Figura 18 – Série de dados de linígrafos dos municípios de Encantado e Estrela



Fonte: Com base em CIH (2014).

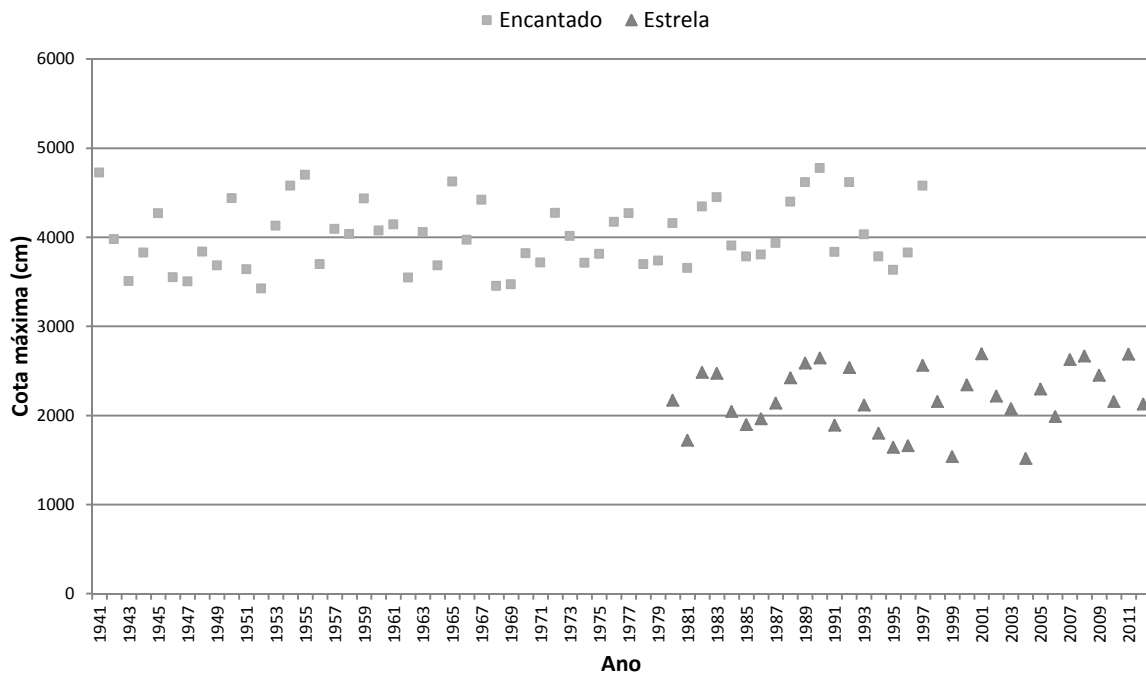
### 6.3.3. Recorrência das cotas do rio Taquari em Estrela e Encantado

Para esta avaliação, utilizaram-se séries de cotas máximas anuais para o município de Encantado e Estrela, referente, respectivamente, aos anos de 1941 a 1997 (compreendendo 57 anos) e de 1980 a 2012 (compreendendo 33 anos) (Figura 19). Em todas as séries, levou-se em conta o ano hidrológico que, conforme sugerido por Tucci et al. (2009), no RS corresponde ao período de maio a abril.

Utilizaram-se as cotas de Encantado referenciadas ao nível do mar, ou seja, as cotas ortométricas; portanto corrigiram-se as informações do Hidroweb através da adição de 27,77 m (referente ao zero da régua linimétrica). Tal procedimento teve como objetivo proporcionar resultados que, no futuro, contribuam à melhor

compreensão pelos órgãos reguladores municipais, subsidiando alteração de planos diretor e zoneamento.

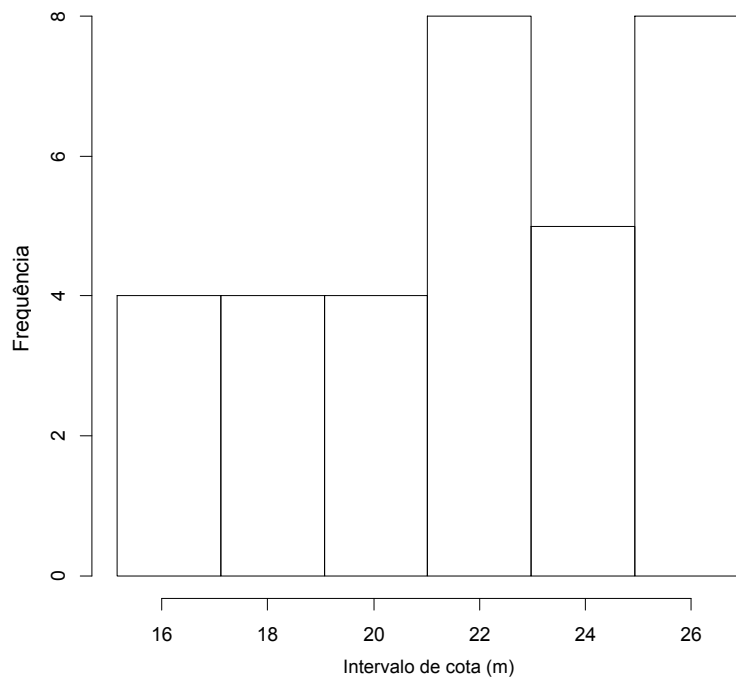
Figura 19 – Séries cotas máximas anuais do rio Taquari em Estrela e Encantado, utilizadas para análise de recorrência das cotas



Fonte: (autor).

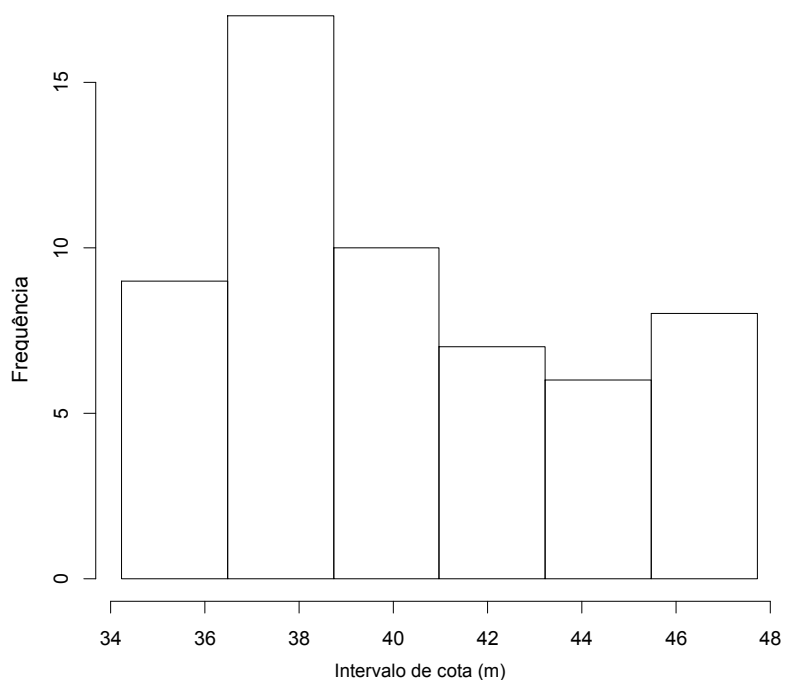
O histograma de cada uma das séries (Figuras 20 e 21)) demonstra um comportamento diferente dos dados. Na série de Estrela há maior quantidade de anos com cotas máximas anuais elevadas, enquanto na série de Encantado ocorreu o oposto. Assim, é esperado que tais séries se ajustem a distribuições probabilística diferentes. A Tabela 11 apresenta a estatística descritiva das séries de dados que evidencia, sobretudo através da mediana, a diferença citada.

Figura 20 – Histograma da série de cota máxima anual de Estrela (1980 à 2012).



Fonte: Adaptado da ferramenta Action (ESTATCAMP, 2014a).

Figura 21 – Histograma da série de cota máxima anual de Encantado (1941 à 1997).



Fonte: Adaptado da ferramenta Action (ESTATCAMP, 2014a).

Tabela 11 – Estatística descritiva das séries de cotas máximas anuais de Estrela e Encantado.

Estatística descritiva	Série de cota	
	Estrela	Encantado
Média (cm)	2188,90	4013,40
Mediana (cm)	2155	3968
Mínima (cm)	1515	3422
Máxima (cm)	2686	4774
Nº de dados/anos	33	57

Fonte: (autor).

A série de cota máxima anual de Estrela ajustou-se melhor à distribuição probabilística GEV, dentre as nove distribuições testadas (Tabela 12) Tabela 12 considerando o valor da estatística dos testes de aderência de KS, AD e  $\chi^2$ , ao nível de significância de 5%. Vale notar que, seguindo o critério do nível de significância adotado, todas as distribuições podem ser utilizadas para representar o comportamento probabilístico da série em questão, pois foram aprovadas nos três testes de aderência. A  $H_0$  dos testes, de que os dados seguem a distribuição testada, não foi rejeitada em nenhuma situação.

Tabela 12 – Resultados dos testes de aderência aplicados às distribuições probabilísticas selecionadas, para a série de cota máxima anual de Estrela

Distribuição	Estatística KS	ranking	Estatística AD	ranking	Estatística $\chi^2$	ranking
GEV	0,0929	1	0,3117	1	1,7866	3
Weibull	0,0958	2	0,3796	2	2,9537	9
Log-Pearson tipo III	0,0987	3	0,3898	3	2,4092	6
Normal	0,1067	4	0,4355	4	2,4661	7
Pearson tipo III	0,1140	5	0,4952	5	2,3971	5
Log-Gama	0,1166	6	0,6267	8	1,1847	2
Log-Normal	0,1167	7	0,5879	7	0,48711	1
Gama	0,1168	8	0,5492	6	2,3266	4
Gumbel Max.	0,1478	9	1,463	9	2,6702	8
<b>Estatística crítica*</b>	0,2310		2,5018		9,4877	

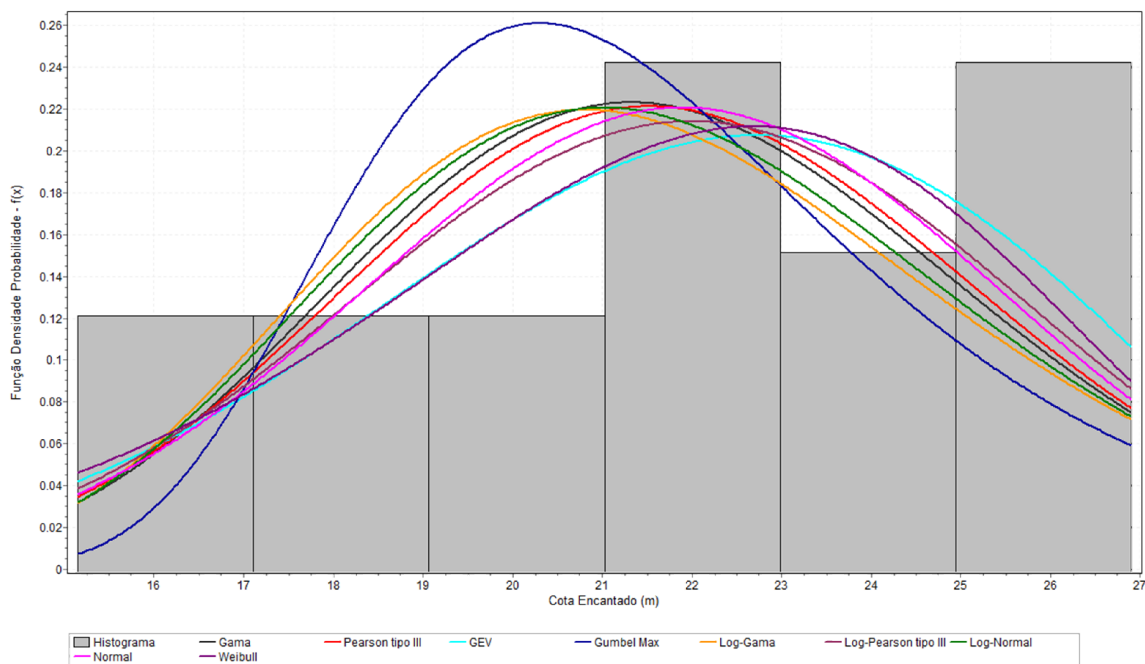
\*para o nível de significância de 5 %

Fonte: (autor).

A avaliação gráfica enfatiza a distribuição selecionada, visto que a curva da função de densidade da distribuição GEV (linha cor verde água) adere melhor ao histograma da série de dados (Figura 22). A representação da comparação das probabilidades teórica e empírica dos dados observados, também, salienta o melhor ajuste encontrado (ponto cor verde água) (Figura 23).

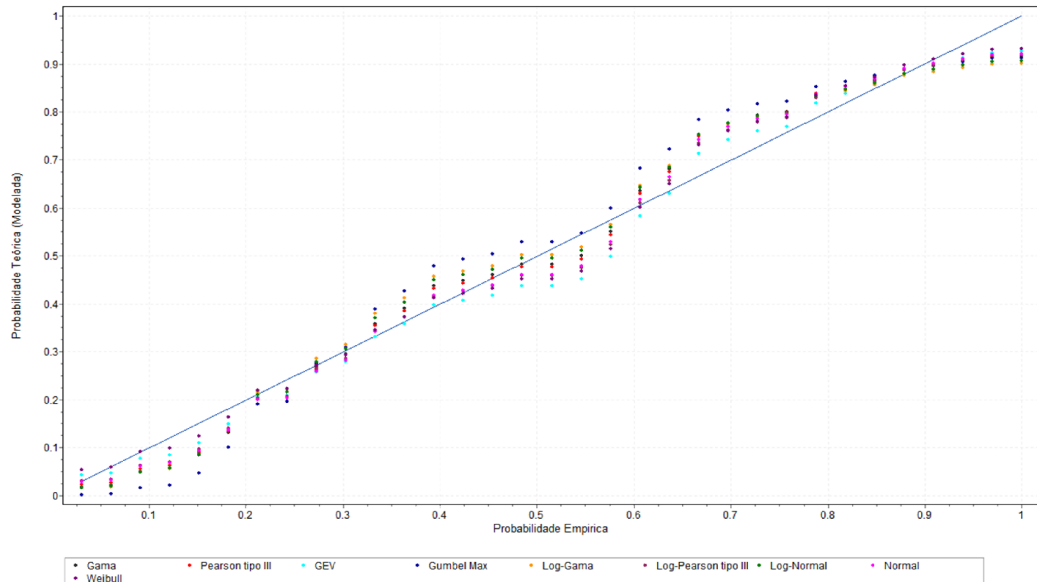
É evidente que o ajuste da distribuição GEV ficou muito próximo da Weibull, porém preferiu-se adotar a primeira distribuição por esta ser mais empregada em estudo de valores extremos máximos, conforme ressaltado por Naghettini e Pinto (2007).

Figura 22 – Gráfico da função densidade de probabilidade das nove distribuições probabilísticas testadas para a série de cotas máximas de Estrela



Fonte: Adaptado do *software* EasyFit.

Figura 23 – Gráfico P-P, comparação entre as probabilidades teórica e empírica aplicada à série de cotas máximas de Estrela, englobando as nove distribuições probabilísticas testadas



Fonte: Adaptado do *software* EasyFit.

Desta forma, a avaliação do tempo de retorno das cotas de inundação no município de Estrela decorreu da aplicação da distribuição probabilística GEV com os seguintes parâmetros, estimados através do *software* EasyFit:  $\kappa$  (forma) = 0,42058;  $\sigma$  (escala) = 3,8544 e  $\mu$  (posição) = 20,848. A Tabela 13 apresenta as estimativas das cotas do rio Taquari em Estrela para diferentes tempos de retorno.

Tabela 13 – Estimativa da cota do rio Taquari em Estrela para diferentes tempos de retorno (TR), obtidas através da distribuição probabilística GEV

TR	Cota Estrela (m)	TR	Cota Estrela (m)
2	22,15	50	28,23
3	23,74	60	28,36
5	25,13	70	28,47
8	26,08	80	28,55
10	26,45	90	28,62
20	27,38	100	28,68
25	27,62	150	28,89
30	27,80	200	29,02
40	28,05	250	29,11

Fonte: (autor).

Nesta altura do rio Taquari a cota de 22 m é considerada uma cota de inundação de magnitude reduzida / média (quando extrapolada); associando à avaliação realizada, verifica-se que sua recorrência é muito frequente (ocorre um evento, em média, a cada 2 anos). Assim, infraestruturas e locais abertos situados em regiões com esta cota devem possuir um plano estratégico de evacuação eficiente.

O maior evento da série utilizada (26,86 m) apresenta uma recorrência média entre 10 e 20 anos, o que permite inferir que não é tão raro. Em contrapartida, conforme os dados históricos coletados, a maior cota atingida nesta localidade é de 29,92 m, ocorrida no ano de 1941, tem recorrência superior a 250 anos. Observa-se que a partir do tempo de retorno de 20 anos as cotas de inundação sofrem pouca variação, devido à baixa ocorrência de inundações destas magnitudes.

Seguindo o mesmo procedimento, para a série de cotas máximas anuais de Encantado, adotando o mesmo nível de significância de 5 % para os testes de aderência, encontrou-se um melhor ajuste à distribuição probabilística Pearson tipo III. Através da Tabela 14 percebe-se que todas as distribuições testadas não são rejeitadas para representar o comportamento dos dados (não superam a estatística crítica), a exemplo do ocorrido para Estrela.

Tabela 14 - Resultados dos testes de aderência aplicados às distribuições probabilísticas selecionadas, para a série de cota máxima anual de Encantado

<b>Distribuição</b>	<b>Estatística KS</b> ranking	<b>Estatística AD</b> ranking	<b>Estatística x<sup>2</sup></b> ranking
GEV	0,0738 1	0,4104 1	0,6448 1
Weibull	0,0971 2	0,6994 5	2,0715 2
Log-Pearson tipo III	0,0994 3	0,4365 2	6,0602 7
Normal	0,1127 4	0,5538 3	7,5014 9
Pearson tipo III	0,1233 5	0,6658 4	6,4053 8
Log-Gama	0,1272 6	0,7276 7	5,1281 5
Log-Normal	0,1278 7	0,7270 6	5,6650 6
Gama	0,1365 8	0,8817 8	3,2968 3
Gumbel Max.	0,1522 9	1,7947 9	3,4540 4
<b>Estatística crítica*</b>	0,1766	2,5018	11,0700

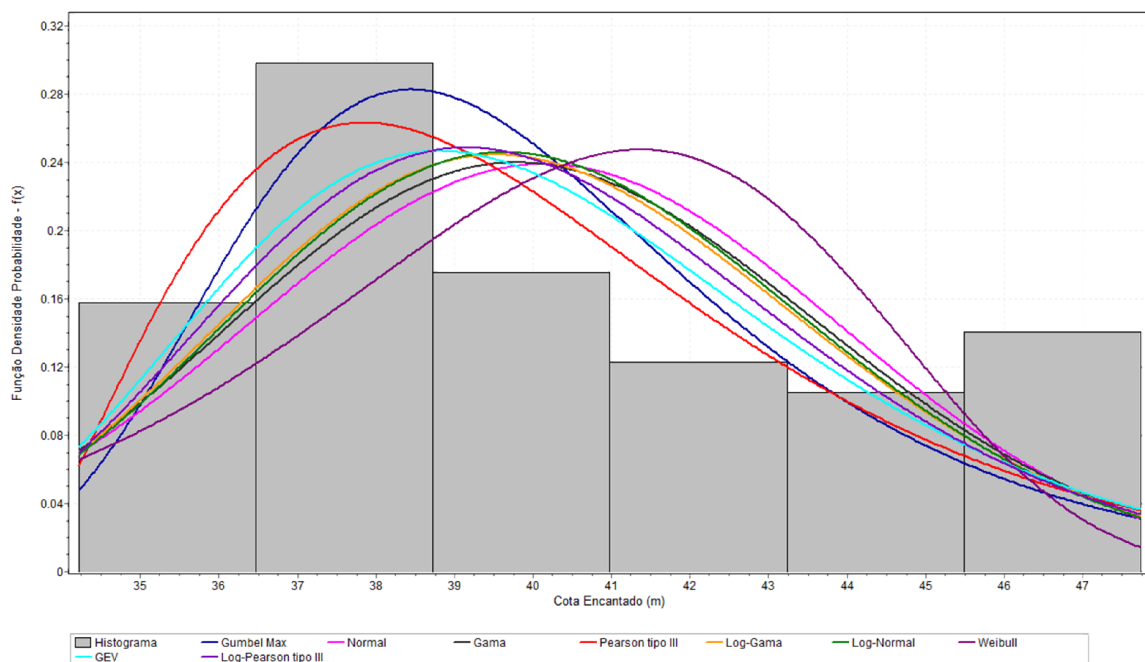
\*para o nível de significância de 5 %



No entanto, por meio das Figuras 24 e 25, fica evidente que a distribuição de Pearson tipo III (linha e ponto cor vermelha) representa melhor o comportamento probabilístico da série de dados de Encantado. Há elevada discrepância com a distribuição de Weibull, embora esta, também, se encontre na área de não rejeição da  $H_0$  do teste de aderência.

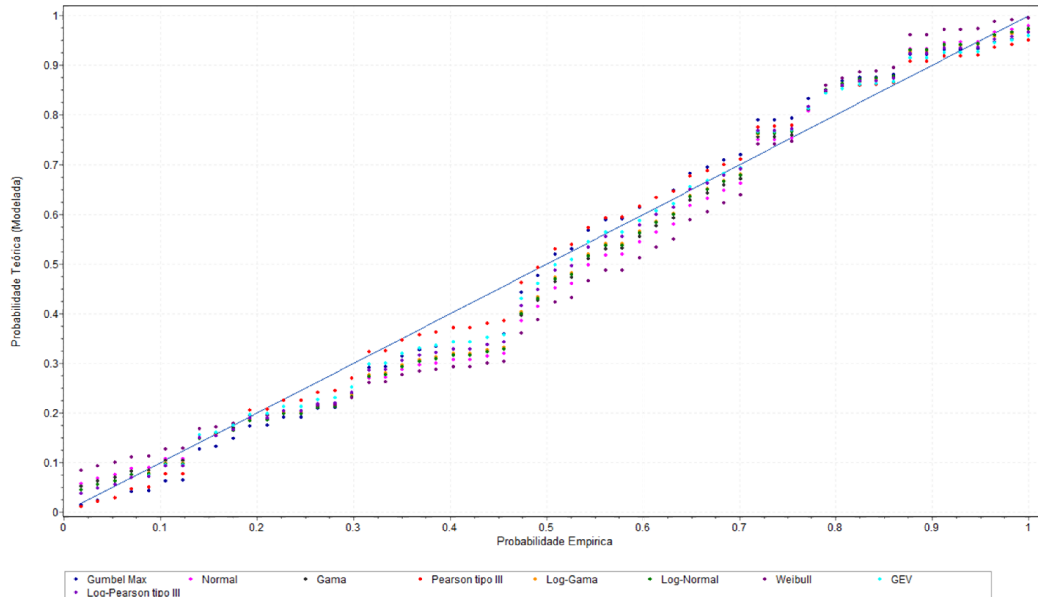
Os três parâmetros encontrados para a distribuição de Pearson tipo III aplicada aos dados em questão são:  $\alpha$  (forma) = 3,0532;  $\beta$  (escala) = 2,2899 e  $\gamma$  (posição) = 33,142. Desta forma, as estimativas das cotas do rio Taquari em Encantado para diferentes tempos de retorno são expressas na Tabela 15.

Figura 24 - Gráfico da função densidade de probabilidade das nove distribuições probabilísticas testadas para a série de cotas máximas de Encantado



Fonte: Adaptado do *software* EasyFit.

Figura 25 - Gráfico P-P, comparação entre as probabilidades teórica e empírica aplicada a série de cotas máximas de Encantado, englobando as nove distribuições probabilísticas testadas



Fonte: Adaptado do *software* EasyFit.

Tabela 15 - Estimativa da cota do rio Taquari em Encantado para diferentes tempos de retorno (TR), obtidas através da distribuição probabilística Pearson tipo III

TR	Cota Encantado (m)	TR	Cota Encantado (m)
2	39,51	50	49,88
3	41,14	60	51,09
5	42,84	70	51,55
8	44,74	80	51,94
10	45,04	90	52,28
20	47,74	100	51,93
25	47,82	150	53,12
30	49,00	200	53,97
40	49,87	250	54,62

Fonte: (autor).

Em média, as cotas entre 39 m e 42 m ocorrem a cada 2/5 anos, apresentando uma frequência relativamente alta. Este fato chama a atenção, já que os impactos na área urbana começam a serem verificados a partir destas cotas, apesar do rio iniciar o extravasamento a partir da cota 38 m (CPRM, 2015). O maior

evento da série de dados utilizada para esta avaliação (que atingiu 47,74 m) apresenta um tempo de retorno de 20 anos, representando uma probabilidade média de ocorrência em um ano de 5 %.

Posteriormente, analisou-se o tempo de retorno das cotas de todos os eventos de inundação de Estrela que ocorreram nos últimos 30 anos e que apresentavam informações do município de Encantado, portanto, compreendendo séries de mesma extensão e período (Tabela 16). A este respeito, é importante mencionar que para as estimativas da recorrência das cotas de inundação, não foram incluídos todos estes dados na série utilizada para o ajuste da distribuição probabilística, sobretudo de Encantado. Isto ocorreu em virtude da indisponibilidade de dados anuais contínuos completos, uma vez que para o procedimento utilizaram-se séries máximas anuais.

Tabela 16 – Comparação da recorrência (TR) das cotas de inundação ocorrida nos dois municípios em um mesmo evento

(continua)

Data	Cota Estrela (m)	TR (ano)	Cota Encantado (m)	TR (ano)	Diferença (anos)
01/06/1990	26,64	11,29	47,24	17,07	-5,79
13/10/1990	22,10	1,98	41,32	3,14	-1,16
29/05/1992	25,35	5,50	46,17	12,25	-6,75
06/07/1993	21,15	1,66	41,17	3,02	-1,36
04/08/1997	25,60	6,20	45,77	10,85	-4,65
16/10/1997	19,70	1,36	38,27	1,60	-0,24
16/08/1998	21,55	1,78	41,57	3,34	-1,56
14/10/2000	23,45	2,75	43,47	5,55	-2,80
21/07/2001	26,30	9,08	46,47	13,44	-4,35
02/10/2001	26,95	14,05	47,35	17,67	-3,63
13/06/2002	22,20	2,02	42,04	3,77	-1,75
03/07/2002	19,45	1,33	38,17	1,57	-0,24
21/02/2003	21,70	1,83	42,77	4,58	-2,75
09/07/2003	19,65	1,36	37,97	1,52	-0,16
27/10/2003	20,74	1,56	39,22	1,93	-0,37
16/12/2003	20,38	1,48	38,34	1,62	-0,14
19/05/2005	20,94	1,60	40,72	2,71	-1,10
17/10/2005	22,95	2,40	43,06	4,95	-2,55

Tabela 16 - Comparação da recorrência das cotas de inundação ocorrida nos dois municípios em um mesmo evento.

Data					(conclusão)
	Cota Estrela (m)	TR (ano)	Cota Encantado (m)	TR (ano)	Diferença (anos)
27/07/2006	19,86	1,39	38,81	1,78	-0,39
11/07/2007	24,52	3,90	45,64	10,43	-6,53
24/09/2007	26,25	8,81	46,42	13,23	-4,42
27/10/2008	26,65	11,35	46,81	14,93	-3,58
10/08/2009	21,55	1,78	39,34	1,98	-0,20
13/09/2009	24,50	3,87	44,67	7,82	-3,95
28/09/2009	21,75	1,84	40,99	2,89	-1,05
05/01/2010	23,95	3,20	40,17	2,38	0,82
23/09/2010	21,55	1,78	41,07	2,95	-1,17
27/03/2011	19,50	1,33	39,12	1,89	-0,56
21/07/2011	26,85	13,05	47,27	17,24	-4,18
10/08/2011	24,66	4,12	44,05	6,54	-2,42
20/09/2012	21,25	1,69	42,07	3,80	-2,11
25/08/2013	23,83	3,08	42,42	4,17	-1,09
13/06/2014	19,89	1,39	30,91	0,65	0,74

Fonte: (autor).

Conforme se verifica, o mesmo evento não gerou cotas máximas com igual tempo de retorno nos dois municípios. Na maior parte dos eventos, as cotas máximas apresentaram tempo de retorno muito próximo em ambos os municípios, porém, em alguns houve maior divergência. Normalmente, ocorre uma cota mais rara a montante e mais frequente a jusante, o que pode ser influenciado por características topográficas, uma vez que, Estrela encontra-se em uma região mais plana, havendo mais contribuição dos afluentes ao longo do trajeto do rio Taquari (sub-bacia do rio Forqueta).

Ainda, a análise da Tabela 16 permite inferir que a maior parte das inundações que ocorrem nos últimos 30 anos na região atingiram cotas com baixo tempo de retorno, ressaltando a elevada recorrência destas. Considerando os dados históricos existentes para o município de Estrela, anteriores ao ano de 1980 iniciando em 1941, elaborou-se o ranking das dez maiores inundações ocorridas nos municípios, o qual é exposto na Tabela 17.

Tabela 17 – Ranking das dez maiores inundações que ocorreram no município de Encantado e Estrela, incluindo dados históricos, com referência ao período de 1941 a 2012

Ordem	Encantado		Estrela	
	Data	Cota máx. (m)	Data	Cota máx. (m)
1	01/10/2001	47,35	06/05/1941	29,92
2	06/05/1941	47,25	06/04/1956	28,86
3	31/05/1990	47,24	27/01/1946	27,40
4	05/04/1956	47,10	27/09/1954	27,35
5	21/07/2001	46,47	02/10/2001	26,95
6	27/09/1954	46,27	21/07/2011	26,85
7	19/08/1965	46,23	27/10/2008	26,65
8	28/05/1992	46,17	01/06/1990	26,64
9	24/09/1989	46,16	22/08/1965	26,40
10	12/09/1989	46,12	21/09/1967	26,33

Fonte: (autor).

Em Encantado seis dos maiores eventos que se tem conhecimento ocorrem nas últimas três décadas, enquanto em Estrela este percentual diminui: quatro dos maiores eventos de inundação ocorrem nas últimas três décadas. É oportuno destacar que em Estrela duas das dez maiores inundações ocorreram na última década; isto nos leva a pensar na hipótese de aumento da frequência de inundações de maior magnitude na localidade.

Este aspecto vem de encontro com alguns estudos realizados nos últimos anos. Cita-se o trabalho de Malutta e Kobiyama (2011), desenvolvido na bacia hidrográfica do rio Negrinho/SC, com base na precipitação mensal. Os autores constataram que a maior parte das inundações dos últimos 20 anos decorreu de precipitações com elevado tempo de retorno, apontando aumento da frequência de eventos extremos. Oliveira, Saldanha e Guasselli (2010), em estudo realizado na bacia hidrográfica do rio Caí/RS, também observaram indícios de aumento da frequência de eventos extremos de inundação em São Sebastião do Caí.

#### 6.3.4. Considerações finais do item

A avaliação do comportamento hidrológico da bacia Taquari-Antas, através da morfometria, análise visual e tempo de concentração das principais sub-bacias, possibilitou constatar que todos os principais afluentes deságuam praticamente ao mesmo tempo no rio principal, contribuindo para um rápido aumento da vazão em curto espaço de tempo nas épocas de elevadas precipitações pluviométricas. Tal descrição confirma a necessidade de ações de prevenção e mitigação dos efeitos das inundações, pelo fato de ser uma região com elevada problemática quanto a ocorrência destes eventos.

Constou-se que os índices morfométricos não são totalmente confiáveis, uma vez que inferiram ser uma região não susceptível a inundações. Entretanto, auxiliaram na identificação das sub-bacias mais contribuintes para o aumento da vazão do rio Taquari-Antas, sendo as localizadas na margem direita (Guaporé, Carreiro e Turvo), em função da extensão, declividade e forma.

O tempo de concentração, embora avaliado através de dados de cotas com intervalo diário, também reforçou tais evidências. Identificou-se que as principais sub-bacias têm o mesmo tempo de concentração (2 dias), com oscilação de horas, e que no trecho mais plano da bacia hidrográfica (entre Muçum e Estrela) as águas deslocam-se rapidamente, em menos de um dia. Aqui foi possível notar a real importância da disponibilidade de dados com intervalo inferior ao diário, uma vez que, auxiliaria em uma melhor compreensão da propagação de cheias.

Com base na análise da recorrência das cotas de inundação no trecho mais plano, nos municípios de Encantado e Estrela, verificou-se que normalmente as inundações resultam em cotas cuja magnitude possuiu menor frequência a montante do que a jusante. Isso permite inferir que o município de Estrela é mais vulnerável a inundações, se comparado com Encantado, por ser apresentar uma topografia mais plana. No desenvolvimento de modelos de previsão de enchentes cota x cota (montante-jusante) estas diferenças e análises são relevantes.

Tais resultados podem contribuir significativamente para o planejamento de uso e cobertura do solo, sendo utilizados na elaboração de normativas, bem como na execução de obras de engenharia. A identificação de um possível aumento da frequência dos eventos extremos de inundações nos últimos anos pode ser

consequência do aumento populacional e impermeabilização do solo, como também, outras interferências humanas no ambiente natural (na paisagem).

#### 6.4. MODELO DE PREVISÃO

Este item apresenta todos os procedimentos desenvolvidos para a elaboração do modelo de previsão das inundações no município de Estrela, alvo principal desta pesquisa. Teve-se como intuito elaborá-lo para ter aplicação, no futuro, aos dados das estações de monitoramento da Univates, que são coletados com linígrafos e pluviógrafos, cujo intervalo de coleta é inferior a um dia, como são os dados da ANA.

##### 6.4.1. Séries de dados hidrológicos utilizadas

Foram utilizadas as séries de dados de cotas e de precipitação média acumulada na sub-bacia do município de Estrela, apresentados nas Tabelas 18 e 19, respectivamente. O “-1” refere-se a falhas que ocorreram no registro dos dados pela operadora.

Em relação aos dados de cotas, estes são referentes a séries de dados parciais da estação de Estrela e estações de Encantado e Muçum localizadas a montante, sendo que desses dois últimos municípios foram consideradas diferentes situações para elaborar as séries: cotas do dia em que ocorreu a cota máxima em Estrela (no dia); cotas do dia anterior da máxima em Estrela (dia anterior) e cotas máximas que ocorreram durante o evento (máx.).

Tabela 18 – Séries de cotas dos municípios a montante de Estrela, referentes aos eventos acima da cota de 19 m ocorridos desde 1980 no referido município

(continua)

Data	Cota diária (cm)						
	Estrela (máx.)	Encantado (no dia)	Muçum (no dia)	Encantado (máx.)	Muçum (máx.)	Encantado (dia anterior)	Muçum (dia anterior)
23/08/80	2170	1375	1293	1375	1293	1033	1021
29/06/82	2496	1200	1085	1564	1432	1564	1432
24/10/82	2270	1356	1330	1356	1330	1065	990
12/11/82	2120	1240	1152	1240	1152	950	842
03/05/83	2045	1012	943	1165	1116	1165	1116
07/07/83	2475	1559	1395	1670	1540	1670	1540

Tabela 18 – Séries de cotas dos municípios a montante de Estrela, referentes aos eventos acima da cota de 19 m ocorridos desde 1980 no referido município

(conclusão)

Data	Cota diária (cm)						
	Estrela (máx.)	Encantado (no dia)	Muçum (no dia)	Encantado (máx.)	Muçum (máx.)	Encantado (dia anterior)	Muçum (dia anterior)
02/08/83	2026	1049	1015	1126	1107	1126	1107
18/08/83	2284	1485	1487	1485	1487	905	937
09/07/84	2045	1127	1180	1127	1180	570	678
11/10/86	1960	960	867	1025	965	1025	965
15/05/87	1965	1151	1115	1155	1140	1155	1140
30/07/87	2135	1098	976	1153	1088	1153	1088
15/08/87	1965	1136	1074	1136	1074	709	709
14/09/88	2425	1620	1568	1620	1568	1440	1441
25/09/88	2240	1132	1056	1132	1056	930	878
06/07/89	2065	1020	898	1244	1208	1244	1208
13/09/89	2590	1410	1100	1835	1820	1835	1820
25/09/89	2590	1285	1167	1839	1794	1839	1794
01/06/90	2664	1370	1380	1947	1380	1947	-1
13/10/90	2210	1355	1254	1355	1254	1010	850
29/05/92	2535	1400	1545	1840	1564	1840	1564
06/07/93	2115	1005	946	1340	1288	1340	1288
04/08/97	2560	1800	1763	1800	1763	1154	1039
16/10/97	1970	1050	1064	1050	1064	834	791
16/08/98	2155	-1	1096	1380	1096	1380	1135
14/10/00	2345	1570	1241	1570	1481	-1	1481
21/07/01	2630	1870	1671	1870	1671	-1	1520
02/10/01	2695	-1	1509	1958	1975	1958	1975
13/06/02	2220	1187	1061	1427	1242	1427	1242
03/07/02	1945	882	909	1040	909	1040	908
21/02/03	2170	1500	1364	1500	1364	168	855
09/07/03	1965	1020	1017	1020	1017	249	280
27/10/03	2074	1145	878	1145	1106	-1	1106
16/12/03	2038	1057	1115	1057	1115	427	392
19/05/05	2094	1295	1152	1295	1152	336	340
17/10/05	2295	1529	1526	1529	1526	514	545
27/07/07	1986	1104	1087	1104	1087	758	883
11/07/07	2452	1787	1370	1787	1370	1560	1330
24/09/07	2625	1865	-1	1865	-1	-1	-1
27/10/08	2665	-1	1600	1904	1900	1904	1900
10/08/09	2155	1157	1178	1157	1178	1115	896
13/09/09	2450	1235	1260	1690	1764	1690	1764
28/09/09	2175	1322	1400	1322	1400	580	600
05/01/10	2395	1240	980	1240	980	843	768
23/09/10	2155	1330	1050	1330	1236	1170	1236
27/03/11	1950	1135	1148	1135	1148	490	384
21/07/11	2685	1950	1900	1950	1900	575	902
10/08/11	2466	1048	1064	1628	1780	1628	1780
20/09/12	2125	1430	870	1430	870	1080	115
25/08/13	2383	1465	1360	1465	1360	670	790
13/06/14	1989	300	315	314	346	314	346

Fonte: (autor).



Tabela 19 - Séries de precipitação média acumulada em dias anteriores à ocorrência dos eventos, na sub-bacia de Estrela

(continua)

Data	Precipitação média acumulada em "x" anteriores ao evento (mm)				
	P 1 dia	P 2 dias	P 3 dias	P 4 dias	P 5 dias
23/08/1980	56,53	87,99	148,07	157,57	156,51
29/06/1982	81,61	108,80	108,80	109,07	109,12
24/10/1982	64,10	103,09	103,09	103,09	108,50
12/11/1982	61,24	61,24	66,93	66,93	67,05
03/05/1983	52,84	75,54	80,93	99,64	99,64
07/07/1983	86,04	87,67	87,67	101,18	106,87
02/08/1983	36,14	59,51	74,47	78,44	89,18
18/08/1983	28,52	68,54	105,70	107,35	110,57
09/07/1984	31,77	46,44	74,11	79,02	95,46
11/10/1986	34,80	78,56	99,75	109,05	114,56
15/05/1987	26,58	68,25	84,60	88,44	88,44
30/07/1987	39,51	90,90	99,06	99,79	99,79
15/08/1987	36,09	52,02	70,51	89,46	89,46
14/09/1988	61,16	149,69	187,55	193,42	193,54
25/09/1988	37,06	43,51	81,98	133,01	134,81
06/07/1989	56,77	69,37	80,06	133,96	151,46
13/09/1989	65,42	95,61	95,63	113,47	118,49
25/09/1989	61,10	130,52	132,74	132,74	132,74
01/06/1990	68,03	117,27	131,52	148,89	150,79
13/10/1990	53,46	64,93	79,29	112,44	139,46
29/05/1992	71,18	109,54	112,37	115,52	117,83
06/07/1993	24,17	47,16	88,00	102,77	102,77
04/08/1997	66,15	101,61	157,51	157,99	157,99
16/10/1997	38,21	42,18	77,45	92,40	98,04
16/08/1998	99,28	103,18	103,18	103,18	107,28
14/10/2000	63,86	107,73	109,56	135,64	135,64
21/07/2001	114,09	147,92	151,18	151,18	154,15
02/10/2001	110,17	160,44	164,14	180,04	181,27
13/06/2002	57,56	72,76	107,13	129,48	162,96
03/07/2002	64,19	77,55	89,78	89,78	89,78
21/02/2003	113,24	113,24	113,26	128,66	128,66
09/07/2003	0,00	4,71	29,39	29,39	29,39
27/10/2003	102,58	115,62	115,62	115,62	118,62
16/12/2003	35,29	42,45	42,45	98,23	98,23
19/05/2005	57,31	57,91	57,97	58,97	58,97
17/10/2005	48,15	72,20	93,75	93,75	93,86
27/07/2007	71,41	93,35	94,04	94,04	94,04
11/07/2007	75,32	110,50	127,96	143,47	144,02
24/09/2007	-1	-1	-1	-1	-1
27/10/2008	97,25	122,81	141,24	148,24	148,87
10/08/2009	45,53	77,89	88,76	101,54	101,54
13/09/2009	-1	-1	-1	-1	-1
28/09/2009	-1	-1	-1	-1	-1
05/01/2010	-1	-1	-1	-1	-1
23/09/2010	90,99	108,60	108,68	108,68	109,05
27/03/2011	48,38	64,34	65,95	66,01	66,01
21/07/2011	27,90	29,18	60,46	81,82	84,35

Tabela 19 - Séries de precipitação média acumulada em dias anteriores à ocorrência dos eventos, na sub-bacia de Estrela

(conclusão)

Data	Precipitação média acumulada em “x” anteriores ao evento (mm)				
	P 1 dia	P 2 dias	P 3 dias	P 4 dias	P 5 dias
10/08/2011	72,37	116,16	122,24	123,65	123,83
20/09/2012	78,02	90,00	106,78	109,91	109,91
25/08/2013	56,71	79,30	79,30	79,30	79,30
13/06/2014	1,00	1,00	1,00	4,82	10,24

Fonte: (elaborado pelo autor).

Em função da incoerência dos dados de precipitação média e cota a montante do último evento da série histórica de Estrela, ocorrido no dia 13/06/2014, o mesmo foi descartado das análises que subsidiaram a determinação do modelo de regressão múltipla, ou seja, foi tratado como um *outleir* da série. Justifica-se tal procedimento pelo fato de se ter verificado que houve elevação do nível do rio Taquari em Estrela, mas nos demais pontos a montante não foi constatada nenhuma alteração significativa; como também a precipitação média não resultou em volumes expressivos.

As Tabelas 20 e 21 expõem as estatísticas descritivas das séries apresentadas, desconsiderando o evento do dia 13/06/2014. Pelo fato de as estações fluviométricas dos municípios a montante de Estrela não apresentarem informações com a mesma referência (cotas ao nível do mar), não foi possível realizar uma análise aprofundada sobre os dados das estatísticas descritivas. A série histórica de cota máxima de Estrela, com valores acima de 19 m, compreende 50 eventos ocorridos entre os anos de 1980 e 2013; as demais possuem um número de dados igual ou inferior devido a falhas.

Tabela 20 – Estatística descritiva das séries de cotas utilizadas no modelo de regressão

Estatística descritiva	Série de cota (cm)						
	Estrela	Encantado (no dia)	Muçum (no dia)	Encantado (máx.)	Muçum (máx.)	Encantado (dia anterior)	Muçum (dia anterior)
Média	2264,26	1304,63	1213,44	1427,54	1332,44	1110,10	1070,10
Mediana	2192,5	1240	1152	1365,5	1254	1097,5	1030
Mínima	1945	882	867	1020	870	168	115
Máxima	2695	1950	1900	1958	1975	1958	1975
Nº de dados	50	47	49	50	49	46	48

Fonte: (autor).

Tabela 21 – Estatística descritiva das séries de precipitação média acumulada na sub-bacia utilizada na regressão

Estatística descritiva	Série de precipitação média acumulada (mm)				
	P 1 dia,	P 2 dias	P 3 dias	P 4 dias,	P 5 dias
Média	60,18	85,39	100,01	110,79	114,19
Mínima	0	4,71	29,39	29,39	29,39
Máxima	114,09	160,44	187,55	193,42	193,54
Nº de dados	46	46	46	46	46

Fonte: (autor).

Com relação às séries de precipitação média acumulada em dias anteriores ao evento (denominadas P “x” dias), verificou-se que em 4 eventos não foi possível estimar a precipitação média; pelo fato de não haver dados disponíveis em todas as estações ou por ter no máximo em 3 estações, o que acarretaria em uma informação errônea.

Ainda notou-se que houve eventos com baixo volume de precipitação média nos dias anteriores, e que mesmo assim resultaram na elevação do nível do rio Taquari. Nestes casos, avaliando as séries de precipitação completas, concluiu-se que elevados índices pluviométricos ocorreram exatamente no dia de registro da cota máxima em Estrela. Tal fato demonstra que a sub-bacia de Estrela (na área complementar a este município) possuiu uma capacidade de resposta muito rápida.

Tendo em vista a estatística descritiva, notou-se que a precipitação média que desencadeou cada um dos eventos de inundações utilizados foi muito variável,

considerando a mesma antecedência. A média dos volumes que ocorreram na bacia no dia anterior aos eventos não é tão elevada (60,18 mm), entretanto os valores variam de 0 a 114 mm. A partir da precipitação média acumulada nos dois dias anteriores, os volumes médios são mais expressivos, embora siga a grande variabilidade dos quantis entre os eventos.

#### 6.4.2. Correlação entre as séries de dados hidrológicos

A avaliação da correlação existente entre as séries de dados hidrológicos que se pretende utilizar é fundamental para a aplicação de um modelo de regressão. Nesse sentido, as Tabelas 22 e 23 mostram os resultados do R, obtidos através do cruzamento das séries de dados, tendo como referência a série de cota máxima de Estrela e, após, a série de cota máxima de Encantado.

Tabela 22 – Correlação de Pearson (R) entre a série de cota máxima de Estrela e as outras séries de dados hidrológicos

Correlação de Pearson "R"		Cota Estrela (máx.)
	Cota Estrela (máx.)	1,000
	Encantado (no dia)*	0,736
	Cota Encantado (máx.)**	0,948
	Cota Muçum (no dia)*	0,725
	Cota Muçum (máx.)**	0,860
	Cota Encantado (dia anterior)***	0,636
	Cota Muçum (dia anterior)***	0,679
sub-bacia Estrela	P 1 dia	0,449
	P 2 dias	0,595
	P 3 dias	0,599
	P 4 dias	0,584
	P 5 dias	0,546

\* no dia em que ocorreu a cota máxima em Estrela

\*\* a cota máxima do evento ocorrido

\*\*\* um dia antes da cota máxima ocorrida em Estrela

Fonte: (autor).

Tabela 23 - Correlação de Pearson (R) entre a série de cota máxima de Encantado e as outras séries de dados hidrológicos

Correlação de Pearson "R"		
	Cota Encantado (máx.)	
Cota Encantado (máx.)	1,000	
Cota Muçum (no dia)*	0,895	
Cota Muçum (máx.)**	0,881	
sub-bacia Encantado	P 1 dia	0,527
	P 2 dias	0,644
	P 3 dias	0,633
	P 4 dias	0,606
	P 5 dias	0,564

\* no dia em que ocorreu a cota máxima em Encantado

\*\* a cota máxima do evento ocorrido

Fonte: (autor).

A correlação entre a série de cota máxima de Estrela e a série de cota máxima ocorrida no mesmo dia em Encantado não resultou em um R elevado ( $R = 0,7365$ ). Este fato pode ser explicado por meio do intervalo de dados disponíveis, tempo de concentração das sub-bacias e tempo de deslocamento do pico entre as estações.

A discretização dos dados é de 1 dia e, como junto à seções fluviométricas desses dois municípios o tc obtido é o mesmo (3 dias), pode-se dizer que há um tempo de deslocamento do pico da inundação na faixa de horas. Desta maneira, não se descarta a possibilidade de ocorrência do pico do evento entre as leituras diárias realizadas na régua linimétrica, o que pode implicar na baixa correlação com a série de Encantado das cotas máximas no dia do evento em Estrela. Ainda, ressalta-se que se o pico da inundação ocorreu à noite ou madrugada em Encantado, em Estrela este, normalmente, ocorrerá no começo do outro dia.

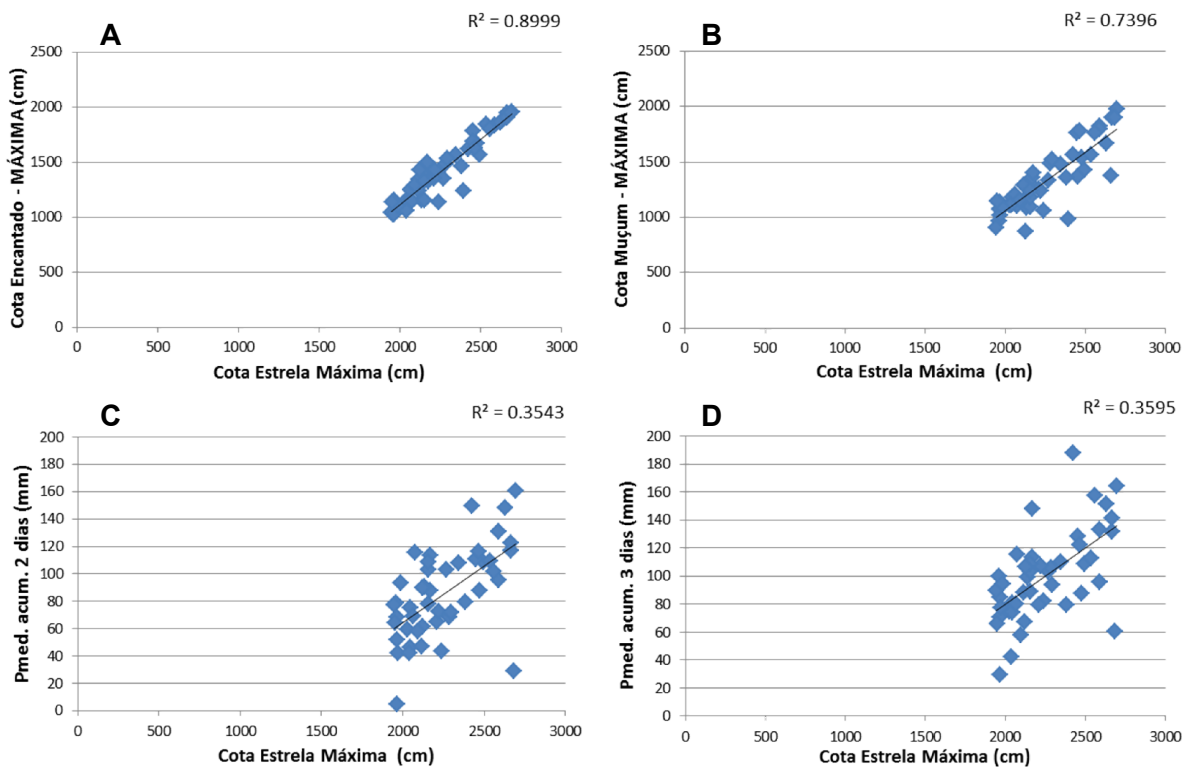
Desta forma, correlacionou-se a série de cotas máximas de Estrela com a série de cotas máximas de Encantado referente ao evento de inundação, não levando em consideração se ocorreu no dia anterior ou no mesmo. Esta avaliação proporcionou resultados melhores do coeficiente de correlação ( $R = 0,9486$ ).

Similarmente com o resultado discutido para os dados da seção de Encantado, verificaram-se as mesmas implicações e tendência dos resultados na correlação da série de cota máxima de Estrela com as séries de cota de Muçum, atingindo um melhor valor da correlação de Pearson com o cruzamento da série de

cota máxima de Muçum ( $R = 0,8600$ ). Considerando a correlação da série de cotas máximas de Encantado e Muçum, obteve-se o melhor resultado de  $R$  para a série de cota de Muçum no dia da cota máxima em Encantado ( $R = 0,8957$ ).

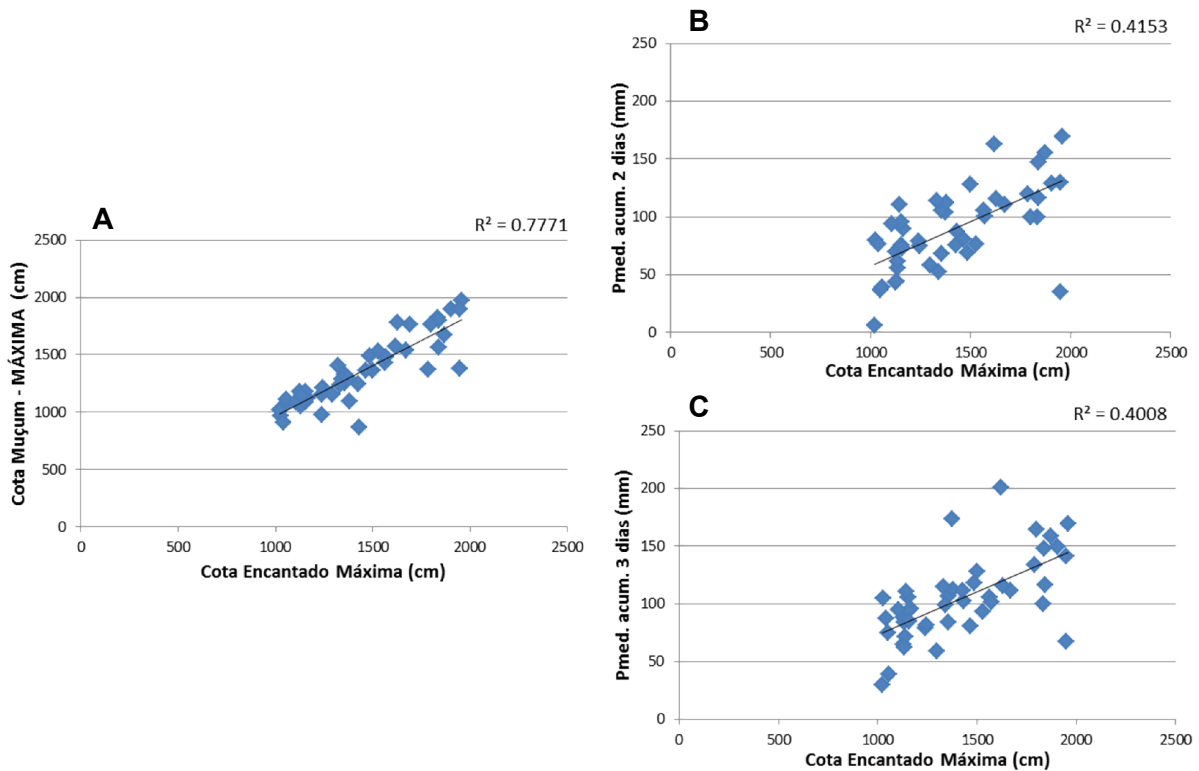
Avaliando as correlações das séries de cotas máximas de Estrela e Encantado com as séries de precipitação média acumulada, em “x” dias anteriores à ocorrência do evento em Estrela, obteve-se os melhores resultados entre as séries de precipitação média acumulada em 2 e 3 dias anteriores ao evento ( $R_{\text{Estrela}} = 0,5952$  e  $R_{\text{Estrela}} = 0,5996$ ;  $R_{\text{Encantado}} = 0,6444$  e  $R_{\text{Encantado}} = 0,6331$ ; respectivamente). Os resultados vão ao encontro do esperado, uma vez que, o tempo de concentração junto a estas duas estações é, em média, de 3 dias. Nas Figuras 26 e 27 são apresentados graficamente os resultados das melhores correlações discutidas acima.

Figura 26 – Representação gráfica das melhores correlações obtidas entre a série de cota máxima de Estrela e série de cota máxima de Encantado (A), série de cota máxima de Muçum (B), série de precipitação média acumulada em 2 dias anteriores (C) e série de precipitação média acumulada em 3 dias anteriores (D)



Fonte: (autor).

Figura 27 – Representação gráfica das melhores correlações obtidas entre a série de cota máxima de Encantado e série de cota máxima de Muçum (A), série de precipitação média acumulada em 3 dias anteriores (B) e série de precipitação média acumulada em 2 dias anteriores (C)



Fonte: (autor).

Os resultados destacados nos parágrafos anteriores permitem inferir que há maior relação de linearidade entre as variáveis das cotas máximas de todos os municípios. Isto porque se obteve valores de R mais próximos do valor 1, o qual indica uma perfeita linearidade dos dados. Já sobre a correlação com os dados de precipitação, se obteve valores de R abaixo de 0,5; indicando maior dispersão dos dados, conforme Naghettini e Pinto (2007).

#### 6.4.3. Ajuste do modelo de regressão linear

Para encontrar o modelo de regressão linear que mais se adequa, estatisticamente à previsão de cotas de inundação no município de Estrela, realizaram-se diversos testes com combinações das séries de dados hidrológicos descritas nos subitens anteriores. Na Tabela 24 é apresentado um resumo dos 59

testes realizados. Conforme se verifica a correlação de Pearson entre as séries de dados hidrológicos utilizadas não foi elevada em todas as combinações; o que era esperado, em função da avaliação do item 6.4.2.

Ressalta-se que a contribuição de cada variável explicativa foi verificada sob um nível de confiança de 95% (nível de significância de 5%). Em relação às funções dos modelos regressivos, testou-se a função aditiva e multiplicativa, conforme as equações descritas na metodologia. Parte da série de dados não foi reservada para a validação, uma vez que estas possuem extensão pequena e poderia interferir no desenvolvimento do modelo.

O primeiro teste (Teste 1) consistiu em avaliar a contribuição da precipitação no modelo de previsão, portanto aplicou-se uma regressão considerando a série de cotas máximas de Estrela (y) e a inclusão como variáveis explicativas (x), somente das séries de precipitação média acumulada na sub-bacia em 1, 2, 3, 4 e 5 dias anteriores ao dia do evento.

O segundo teste (Teste 2) avaliou o resultado do modelo de previsão com o uso da série de cota de Encantado, ocorrida no dia do registro do evento máximo em Estrela, como variável explicativa na regressão. Após foi acrescentado ao modelo as séries de precipitação e, sequencialmente, a série de cota de Muçum também ocorrida no dia do evento.

No teste seguinte (Teste 3), foi avaliada a resposta do modelo de previsão à inclusão das séries de cotas ocorridas no dia anterior ao dia do evento, nas duas estações a montante: Encantado e Muçum; seguindo as mesmas relações citadas.

Por fim, em função das melhores correlações obtidas, utilizaram-se as séries das cotas máximas referente aos eventos (Teste 4) registradas nos municípios a montante e as demais variáveis explicativas (séries de precipitação) seguiram sem alteração.

Na medida em que eram obtidos os resultados das medidas de qualidade, decidia-se a existência ou não da necessidade de realização de novas tentativas de ajuste de modelos de regressão linear, com inclusão de série de dados explicativos diferenciados.



Tabela 24 – Tabela geral dos testes de modelos de regressão linear

(continua)

F <sub>c</sub>	Variáveis / Modelo	Significância estatística - p-valor*														Medidas de qualidade do ajuste									
		Função soma [ $y = \beta_0 + (x_1 * \beta_1) + (x_2 * \beta_2) + \dots$ ]							Função multiplicativa [ $y = \beta_0 * (x_1 ^ \beta_1) * (x_2 ^ \beta_2) * \dots$ ]							Função soma		Função múltip,		Função soma			Função multiplicativa		
		P 1 dia	P 2 dias	P 3 dias	P 4 dias	P 5 dias	Encantado	Muçum	P 1 dia	P 2 dias	P 3 dias	P 4 dias	P 5 dias	Encantado	Muçum	R <sup>2</sup>	R	R <sup>2</sup>	R	EQM (cm <sup>2</sup> )	EP (cm)	nash-sutcliffe	EQM (cm <sup>2</sup> )	EP (cm)	nash-sutcliffe
TESTE 1	1 Estr,*P1dia	0,001							0,012							0,184	0,429	0,115	0,339	44699	211,4	0,20	48500	220,2	0,13
	2 Estr,*P2dias	0,000							0,001							0,340	0,583	0,194	0,440	36172	190,1	0,35	43811	209,3	0,21
	3 Estr,*P3dias	0,000							0,000							0,345	0,587	0,305	0,552	35880	189,4	0,35	37909	194,7	0,32
	4 Estr,*P4dias	0,000							0,000							0,327	0,572	0,288	0,537	36854	191,9	0,34	38858	197,1	0,30
	5 Estr,*P5dias	0,000							0,000							0,283	0,532	0,255	0,505	39284	198,2	0,29	40862	202,1	0,27
TESTE 2	6 Estr,*Encan_no_dia	1,81 E-08							1,15 E-08							0,531	0,729	0,541	0,736	23266	152,5	0,54	23185	152,2	0,54
	7 Estr,*Encan_no_dia*P1dia	0,313							0,566							0,532	0,729	0,534	0,731	22676	150,5	0,55	23020	151,7	0,54
	8 Estr,*Encan_no_dia*P2dia	0,010							0,080							0,593	0,770	0,565	0,752	19726	140,4	0,61	21557	146,8	0,57
	9 Estr,*Encan_no_dia*P3dia	0,039							0,035							0,568	0,754	0,579	0,761	20902	144,5	0,58	21101	145,2	0,58
	10 Estr,*Encan_no_dia*P4dia	0,030							0,023							0,573	0,757	0,587	0,766	20667	143,7	0,59	20740	144,0	0,59
	11 Estr,*Encan_no_dia*P5dia	0,040							0,030							0,568	0,754	0,582	0,763	20919	144,6	0,58	20932	144,6	0,58
	12 Estr,*Muç,_no_dia	3,92 E-08							6,40 E-08							0,466	0,683	0,455	0,675	28179	167,8	0,47	28466	168,7	0,47

Tabela 24 – Tabela geral dos testes de modelos de regressão linear

(continuação)

L <sub>c</sub>	Variáveis / Modelo	Significância estatística - p-valor*														Medidas de qualidade do ajuste									
		Função soma [ $y = \beta_0 + (x_1 * \beta_1) + (x_2 * \beta_2) + \dots$ ]							Função multiplicativa [ $y = \beta_0 * (x_1 ^ \beta_1) * (x_2 ^ \beta_2) * \dots$ ]							Função soma		Função múltip,		Função soma			Função multiplicativa		
		P 1 dia	P 2 dias	P 3 dias	P 4 dias	P 5 dias	Encantado	Muçum	P 1 dia	P 2 dias	P 3 dias	P 4 dias	P 5 dias	Encantado	Muçum	R <sup>2</sup>	R	R <sup>2</sup>	R	EQM (cm <sup>2</sup> )	EP (cm)	nash-sutcliffe	EQM (cm <sup>2</sup> )	EP (cm)	nash-sutcliffe
TESTE 2	13 Estr,*Muç,_no_dia*P1 dia	0,003					1,67 E-09							2,09 E-08	0,592	0,770	0,505	0,711	21832	147,7	0,61	26315	162,2	0,53	
	14 Estr,*Muç,_no_dia*P2 dia		0,000				1,65 E-10		0,002					2,11 E-09	0,659	0,812	0,592	0,769	18266	135,1	0,67	21630	147,0	0,61	
	15 Estr,*Muç,_no_dia*P3 dia			0,001			9,83 E-10			0,000				1,10 E-09	0,609	0,780	0,612	0,782	20932	144,6	0,62	21139	145,3	0,62	
	16 Estr,*Muç,_no_dia*P4 dia				0,000		7,26 E-10				0,000			9,61 E-10	0,618	0,786	0,616	0,785	20443	142,9	0,63	20752	144,0	0,63	
	17 Estr,*Muç,_no_dia*P5 dia					0,001	1,05 E-09						0,001	1,38 E-09	0,607	0,779	0,605	0,778	21043	145,0	0,62	21300	145,9	0,62	
	18 Estr,*Encan_no_dia*Muç,_no_dia						1,96 E-08	0,283						1,27 E-08	0,295	0,533	0,730	0,543	0,737	22599	150,3	0,55	22462	149,8	0,55
	19 Estr,*Encan_no_dia*Muç,_no_dia*P1dias	0,123					1,49 E-08	0,275	0,520					1,72 E-08	0,298	0,550	0,742	0,536	0,732	21249	145,7	0,58	22251	149,1	0,56
	20 Estr,*Encan_no_dia*Muç,_no_dia*P2dias		0,003				2,42 E-09	0,238		0,042				5,75 E-09	0,276	0,615	0,784	0,579	0,761	18159	134,7	0,64	20213	142,1	0,60
	21 Estr,*Encan_no_dia*Muç,_no_dia*P3dias			0,030			7,56 E-09	0,261			0,021			4,01 E-09	0,268	0,576	0,759	0,591	0,769	20012	141,4	0,60	19972	141,3	0,60
	22 Estr,*Encan_no_dia*Muç,_no_dia*P4dias				0,020		6,20 E-09	0,257				0,014		3,22 E-09	0,264	0,583	0,764	0,599	0,774	19671	140,2	0,61	19600	140,0	0,61
	23 Estr,*Encan_no_dia*Muç,_no_dia*P5dias					0,028	7,29 E-09	0,260					0,019	3,81 E-09	0,267	0,577	0,760	0,593	0,770	19948	141,2	0,60	19842	140,8	0,61

Tabela 24 – Tabela geral dos testes de modelos de regressão linear

(continuação)

L <sub>C</sub>	Variáveis / Modelo	Significância estatística - p-valor*														Medidas de qualidade do ajuste									
		Função soma [ $y = \beta_0 + (x_1 * \beta_1) + (x_2 * \beta_2) + \dots$ ]							Função multiplicativa [ $y = \beta_0 * (x_1 ^ \beta_1) * (x_2 ^ \beta_2) * \dots$ ]							Função soma		Função multip,.		Função soma			Função multiplicativa		
		P 1 dia	P 2 dias	P 3 dias	P 4 dias	P 5 dias	Encantado	Muçum	P 1 dia	P 2 dias	P 3 dias	P 4 dias	P 5 dias	Encantado	Muçum	R <sup>2</sup>	R	R <sup>2</sup>	R	EQM (cm <sup>2</sup> )	EP (cm)	nash-sutcliffe	EQM (cm <sup>2</sup> )	EP (cm)	nash-sutcliffe
TESTE 3	24 Estr,*Encan_dia_ant					2,8E-06							3,8E-04		0,382	0,618	0,235	0,485	32309	179,7	0,39	39286	198,2	0,26	
	25 Estr,*Encan_dia_ant*P1dia	0,129				3,6E-06		0,984					7,6E-04		0,410	0,641	0,212	0,460	31230	176,7	0,43	41030	202,5	0,26	
	26 Estr,*Encan_dia_ant*P2dia		0,073			3,0E-06			0,149				5,7E-04		0,424	0,651	0,252	0,502	30516	174,6	0,45	38918	197,2	0,30	
	27 Estr,*Encan_dia_ant*P3dia			0,047		2,5E-06				0,019			3,5E-04		0,434	0,659	0,314	0,560	29976	173,1	0,46	35824	189,2	0,35	
	28 Estr,*Encan_dia_ant*P4dia				0,062	2,8E-06					0,026		3,8E-04		0,428	0,654	0,304	0,552	30312	174,1	0,45	36282	190,4	0,34	
	29 Estr,*Encan_dia_ant*P5dia					0,144	3,8E-06						0,057	4,6E-04	0,408	0,639	0,281	0,530	31365	177,1	0,43	37629	193,9	0,32	
	30 Estr,*Muç,_dia_ant						2,20E-07							7,54E-05	0,433	0,658	0,276	0,525	28562	169,0	0,44	35564	188,5	0,31	
	31 Estr,*Muç,_dia_ant*P1dia	0,190					2,63E-07		0,967					1,59E-04	0,459	0,677	0,257	0,507	27597	166,1	0,48	36903	192,1	0,30	
	32 Estr,*Muç,_dia_ant*P2dia		0,1584				2,46E-07			0,149				1,15E-04	0,462	0,680	0,293	0,542	27416	165,5	0,48	35284	187,8	0,33	
	33 Estr,*Muç,_dia_ant*P3dia			0,074			1,8E-07				0,022			6,84E-05	0,477	0,691	0,345	0,587	26637	163,2	0,50	32795	181,0	0,38	
	34 Estr,*Muç,_dia_ant*P4dia				0,117		2,19E-07					0,035		7,80E-05	0,468	0,684	0,333	0,577	27110	164,6	0,49	33416	182,8	0,37	
35 Estr,*Muç,_dia_ant*P5dia					0,225	2,79E-07						0,072	9,52E-05	0,455	0,675	0,313	0,559	27761	166,6	0,48	34470	185,6	0,35		

Tabela 24 – Tabela geral dos testes de modelos de regressão linear

(continuação)

L <sub>C</sub>	Variáveis / Modelo	Significância estatística - p-valor*														Medidas de qualidade do ajuste									
		Função soma [ $y = \beta_0 + (x_1 * \beta_1) + (x_2 * \beta_2) + \dots$ ]							Função multiplicativa [ $y = \beta_0 * (x_1 ^ \beta_1) * (x_2 ^ \beta_2) * \dots$ ]							Função soma		Função múltip,		Função soma			Função multiplicativa		
		P 1 dia	P 2 dias	P 3 dias	P 4 dias	P 5 dias	Encantado	Muçum	P 1 dia	P 2 dias	P 3 dias	P 4 dias	P 5 dias	Encantado	Muçum	R <sup>2</sup>	R	R <sup>2</sup>	R	EQM (cm <sup>2</sup> )	EP (cm)	nash-sutcliffe	EQM (cm <sup>2</sup> )	EP (cm)	nash-sutcliffe
TESTE 3	36 Estr,*Encan_dia_ant* Muçu_dia_ant					0,890	9,60 E-07						0,241	1,54 E-04	0,412	0,642	0,275	0,525	28478	168,7	0,43	34467	185,6	0,32	
	37 Estr,*Encan_dia_ant* Muçu_dia_ant*P1dia	0,192				0,881	1,26 E-06	0,851					0,254	3,35 E-04	0,437	0,661	0,253	0,503	27469	165,7	0,47	35720	189,0	0,32	
	38 Estr,*Encan_dia_ant* Muçu_dia_ant*P2dia		0,188			0,881	1,25 E-06		0,299				0,248	2,85 E-04	0,438	0,662	0,274	0,523	27448	165,6	0,47	34757	186,4	0,34	
	39 Estr,*Encan_dia_ant* Muçu_dia_ant*P3dia			0,104		0,880	9,99 E-07			0,063			0,233	1,94 E-04	0,451	0,672	0,318	0,564	26791	163,6	0,49	32696	180,8	0,37	
	40 Estr,*Encan_dia_ant* Muçu_dia_ant*P4dia				0,156	0,881	1,17 E-06				0,095		0,237	2,16 E-04	0,442	0,665	0,306	0,553	27248	165,0	0,48	33245	182,3	0,36	
	41 Estr,*Encan_dia_ant* Muçu_dia_ant*P5dia					0,287	0,882	1,44 E-06					0,177	0,243	2,53 E-04	0,428	0,655	0,288	0,537	27893	167,0	0,47	34188	184,9	0,35
TESTE 4	42 Estr,*Encan_max					1,24 E-25							2,67 E-24		0,898	0,948	0,884	0,940	5556	74,5	0,90	5897	76,7	0,89	
	43 Estr,*Encan_max*P1dia	0,427				1,26 E-25		0,573					6,09 E-24		0,920	0,959	0,904	0,951	4283	65,4	0,92	4728	68,7	0,91	
	44 Estr,*Encan_max*P2dia		0,977			1,69 E-25			0,548				5,97 E-24		0,919	0,959	0,904	0,951	4347	65,9	0,92	4726	68,7	0,91	
	45 Estr,*Encan_max*P3dia			0,936		1,69 E-25				0,714			6,62 E-24		0,919	0,959	0,904	0,951	4346	65,9	0,92	4746	68,8	0,91	
	46 Estr,*Encan_max*P4dia				0,620	1,51 E-25					0,669		6,48 E-24		0,919	0,959	0,904	0,951	4322	65,7	0,92	4760	68,9	0,91	
	47 Estr,*Encan_max*P5dia					0,681	1,57 E-25						0,708	6,61 E-24		0,919	0,959	0,904	0,951	4330	65,8	0,92	4762	69,0	0,91

Tabela 24 – Tabela geral dos testes de modelos de regressão linear

(conclusão)

F <sub>c</sub>	Variáveis / Modelo	Significância estatística - p-valor*														Medidas de qualidade do ajuste									
		Função soma [ $y = \beta_0 + (x_1 * \beta_1) + (x_2 * \beta_2) + \dots$ ]							Função multiplicativa [ $y = \beta_0 * (x_1 ^ \beta_1) * (x_2 ^ \beta_2) * \dots$ ]							Função soma		Função múltip,		Função soma			Função multiplicativa		
		P 1 dia	P 2 dias	P 3 dias	P 4 dias	P 5 dias	Encantado	Muçum	P 1 dia	P 2 dias	P 3 dias	P 4 dias	P 5 dias	Encantado	Muçum	R <sup>2</sup>	R	R <sup>2</sup>	R	EQM (cm <sup>2</sup> )	EP (cm)	nash-sutcliffe	EQM (cm <sup>2</sup> )	EP (cm)	nash-sutcliffe
TESTE 4	48 Estr,*Muç,_max						2,46 E-15							1,74 E-14	0,734	0,857	0,711	0,843	14036	118,4	0,74	14524	120,5	0,73	
	49 Estr,*Muç,_max*P1dia	0,037					1,19 E-17	0,662						2,57 E-16	0,816	0,903	0,784	0,885	9858	99,2	0,82	11044	105,0	0,80	
	50 Estr,*Muç,_max*P2dia		0,026				9,17 E-18		0,092					8,82 E-17	0,819	0,905	0,797	0,893	9714	98,5	0,82	10437	102,1	0,81	
	51 Estr,*Muç,_max*P3dia			0,050			1,45 E-17			0,035				4,62 E-17	0,814	0,902	0,804	0,897	9966	99,8	0,82	10219	101,0	0,81	
	52 Estr,*Muç,_max*P4dia				0,035		1,12 E-17				0,034			4,53 E-17	0,816	0,904	0,804	0,897	9826	99,1	0,82	10149	100,7	0,81	
	53 Estr,*Muç,_max*P5dia					0,051	1,47 E-17					0,053		6,10 E-17	0,814	0,902	0,801	0,895	9975	99,8	0,82	10287	101,4	0,81	
	54 Estr,*Encan_max*Muç,_max						1,11 E-26	0,015						4,09 E-25	0,929	<b>0,964</b>	0,916	<b>0,957</b>	3792	61,5	0,93	4093	63,97	0,92	
	55 Estr,*Encan_max*Muç,_max*P1dia	0,740					4,07 E-26	0,017	0,622					1,30 E-24	0,928	0,963	0,915	0,957	3782	61,4	0,93	<b>4068</b>	<b>63,7</b>	0,92	
	56 Estr,*Encan_max*Muç,_max*P2dia		0,848				4,21 E-26	0,017		0,735				1,38 E-24	0,928	0,963	0,915	0,956	3788	61,5	0,93	4083	63,9	0,92	
	57 Estr,*Encan_max*Muç,_max*P3dia			0,979			4,28 E-26	0,017			0,892			1,44 E-24	0,927	0,963	0,915	0,956	3791	61,5	0,93	4089	63,9	0,92	
58 Estr,*Encan_max*Muç,_max*P4dia				0,578		3,70 E-26	0,016				0,578		1,26 E-24	0,928	0,963	0,915	0,957	<b>3764</b>	<b>61,3</b>	0,93	4082	63,8	0,92		
59 Estr,*Encan_max*Muç,_max*P5dia					0,627	3,83 E-26	0,016					0,628	1,31 E-24	0,928	0,963	0,915	0,957	3770	61,4	0,93	4085	63,9	0,92		

\*se p-valor < nível de significância adotado, rejeita-se a H<sub>0</sub>= não tem contribuição significativa, Adotou-se um nível de confiança de 95% /nível de significância de 0,05 - 5%

Legenda: EQM: erro quadrático médio; EP: erro padrão; R: coeficiente de correlação de Pearson; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação.

Obs.: valores do p-valor destacados em vermelho referem-se as variáveis dependentes com contribuição significativa no modelo de regressão múltipla testado.

Fonte: (autor).

Analisando os resultados da Tabela 24 com enfoque nos modelos de regressão linear do Teste 1, notou-se que o uso dos dados de precipitação para prever a cota máxima em Estrela teve significância estatística em todas as situações de antecedência consideradas. Porém, os valores das medidas de qualidade de todos os modelos são extremamente baixos, associando um elevado grau de incerteza na sua aplicação.

Este comportamento qualitativo decorre da baixa linearidade entre a série de cota de Estrela e as séries de precipitação com “x” antecedência. Ainda que estes modelos regressivos não possam ser aplicados, destaca-se que o melhor modelo consistiu no que utilizou a precipitação média ocorrida na sub-bacia em 3 dias anteriores ao evento com uma função aditiva, o que está diretamente relacionado com o tempo de concentração da sub-bacia, que é de 3 dias.

Em relação ao Teste 2, a utilização da cota máxima ocorrida no dia do evento em Encantado e Muçum, teve significância estatística na maioria dos modelos elaborados, inclusive quando se optou pela inclusão dos dados de precipitação acumulada em “x” dias anteriores como uma segunda variável explicativa.

A exceção ocorreu, sobretudo, nos modelos com a inclusão simultânea das cotas das estações a montante (Encantado e Muçum) e, posteriormente, os dados de precipitação (funções n.ºs 18 a 23 da Tabela 24). Observou-se que a inclusão da cota de Muçum ocorrida no dia do evento, juntamente aos dados citados, não teve contribuição estatística para a previsão da cota em Estrela. Sendo assim, torna-se um modelo com uso de dados excessivo e estatisticamente pouco significativo.

Embora haja significância estatística em muitos modelos do Teste 2, estes não são satisfatórios, em virtude da elevada incerteza na modelagem expressa pelas medidas de qualidade, cujos valores são extremamente baixos. Por exemplo, para a função aditiva, os melhores resultados obtidos foram para a função n.º 12: EQM = 28179 cm<sup>2</sup>; EP = 167,86 cm e Nash-Sutcliffe = 0,477.

Tendo em vista o Teste 3, referente aos modelos com as cotas ocorridas a montante no dia anterior ao evento e a precipitação média acumulada em dias anteriores, verificou-se uma piora do ajuste em praticamente todas as regressões testadas. Percebeu-se que, neste caso, a inclusão dos dados de precipitação não contribui estatisticamente na maioria dos modelos elaborados, com exceção para as funções n.º 27, 28, 33 e 34.

Sob a ótica das regressões elaboradas utilizando somente os dados de cotas ocorridas no dia anterior dos municípios a montante (Encantado e Muçum), constatou-se que, quando os dados dos municípios são utilizados conjuntamente, estes conferem um modelo sem contribuição estatística significativa (função n.º 36).

Assim, os Testes 2 e 3 revelaram que a utilização dos dados de cotas ocorridas a montante no dia do evento e no dia anterior, não se apresentam como variáveis explicativas nas regressões lineares para a previsão da cota máxima de inundação em Estrela. Entre outros fatores que podem ter influenciado este resultado, destaca-se o tempo de concentração que é da ordem de horas entre as seções de Encantado e Estrela, e no modelo elaborado com dados diários não permite avaliar picos em menor intervalo de tempo.

A disponibilidade somente de séries históricas de cotas com intervalo diário, para a elaboração deste estudo, agrega muitas incertezas no que se refere ao momento (hora do dia) exato de ocorrência da cota máxima nas seções fluviométricas utilizadas. É de conhecimento comum que todos os dados coletados por meio de réguas linimétricas com operação manual, possuem, também, uma incerteza agregada em função de erros de anotação, digitação e dificuldade de acesso em situações de inundação.

Desta forma, há a hipótese de que a cota máxima de um dia tenha sido registrada no dia anterior do qual realmente ocorreu, dificultando a elaboração de modelos regressivos, conforme constatado. Logo, o Teste 4 consistiu no uso das séries de cotas máximas do evento ocorridas a montante, em Encantado e Muçum, como variáveis explicativas, associando, também, às séries de precipitações.

O uso dos dados de cotas máximas proporcionou uma melhora significativa das medidas de qualidade de todos os modelos de regressão construídos. Este fato está relacionado aos elevados valores de correlações encontradas entre as séries dos valores máximos. Entretanto, a inclusão dos dados de precipitação antecedente, como variável explicativa, não apresentou relevância. Verificou-se a contribuição estatística desta variável apenas em algumas situações, com correlação das cotas máximas de Muçum (funções n.ºs 49, 50, 51 e 52).

Os modelos que utilizaram somente os dados de cotas máximas de Encantado e/ou Muçum como variável explicativa apresentaram significância estatística nas três situações (funções n.ºs 42, 48 e 54). Os bons valores das



medidas de qualidade indicam que estes modelos apresentam resultados satisfatórios quando utilizados.

Verificou-se que o modelo de regressão linear estipulado pela função n.º 54, com uso das variáveis explicativas: cota máxima em Encantado e Muçum; resultou nos melhores valores dos coeficientes R e R<sup>2</sup> e em ótimos valores das medidas de qualidade, dentre todos os testes realizados. A função aditiva teve melhor ajuste que a multiplicativa, apresentando um R<sup>2</sup> = 0,929; R = 0,963; EQM = 3791 cm<sup>2</sup>; EP = 61,57 cm e um Nash-Sutcliffe = 0,932.

Assim, entre todos os 59 testes realizados, constatou-se que o modelo obtido pela função n.º 54 é o mais adequado para prever a cota máxima no município de Estrela, sendo estatisticamente significativo. A equação do modelo de regressão da função n.º 54 é dada por:

$$\text{cota Estr.} = 1136,74767346 + (\text{cota Enc.} \times 0,61759726) + (\text{cota Muçum} \times 0,17945915) \quad (1)$$

sendo:

cota Estr. = cota máxima em Estrela (cm);

cota Enc. = cota máxima em Encantado (cm);

cota Muçum = cota máxima em Muçum (cm).

Em função da variabilidade amostral, a reta de regressão obtida da amostra extraída da população é uma das muitas retas possíveis (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Desta forma, a Tabela 25 apresenta os intervalos de confiança para os coeficientes da regressão linear múltipla do modelo da função n.º 54.

Tabela 25 – Intervalos de confiança para os coeficientes da regressão linear múltipla do modelo da função n.º 54

Intervalo de confiança – função n.º 54		
(nível confiança)	2,50%	97,50%
Intercepto	1042,131849	1231,363498
Coef. série cota Enc.	0,478964278	0,75623026
Coef. série cota Muçum.	0,035226899	0,323691402

Fonte: (autor).

Cabe ressaltar que a cota de Encantado deve ser inserida sem estar referenciada ao nível do mar. Desta forma, se os dados forem retirados do monitoramento da Univates, devem ser descontados os 27,77 m, que correspondem ao nível de referência do zero do linígrafo. Caso esta informação seja retirada do monitoramento da CPRM, cujos dados são os disponíveis no sistema da ANA, não é necessário efetuar o desconto deste valor.

#### 6.4.4. Modelo de regressão linear: função nº 54 aditiva

Para aplicar o modelo de regressão linear encontrado é necessário que todas as hipóteses restritivas do método sejam atendidas. Desta forma, este item apresenta a avaliação do atendimento, ou não, das hipóteses pelo modelo de regressão selecionado: função nº 54 aditiva.

A hipótese de linearidade entre as variáveis foi avaliada através do coeficiente R. Conforme apresentado no item 6.4.2., onde verificou-se que a relação entre as séries de dados utilizadas é linear (Tabela 26).

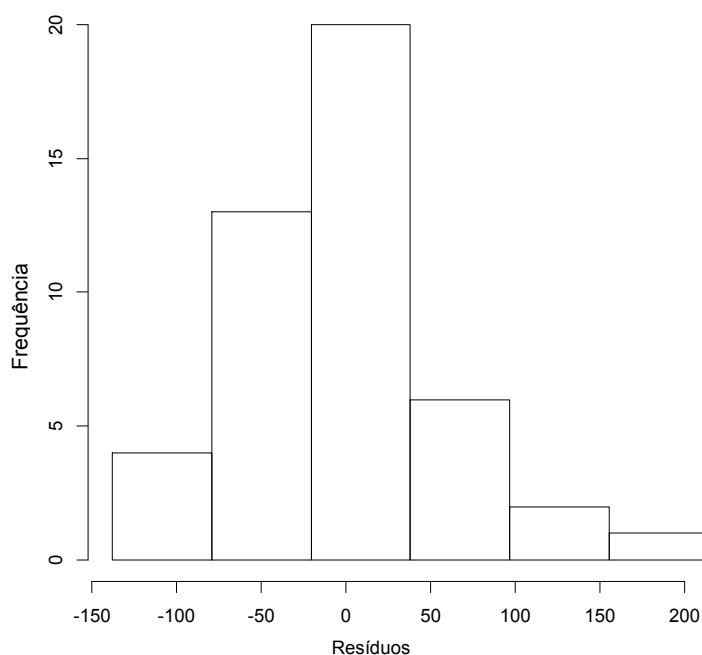
Tabela 26 – Matriz de correlação das séries de cotas máximas utilizadas no modelo de regressão função nº 54

	<b>Estrela</b>	<b>Encantado</b>	<b>Muçum</b>
Estrela	1,000	0,948	0,860
Encantado	0,948	1,000	0,881
Muçum	0,860	0,881	1,000

Fonte: (autor).

As demais hipóteses são verificadas a partir dos resíduos gerados na regressão. Inicialmente, na Figura 28 tem-se o histograma elaborado com base nos resíduos da função nº 54, tendo em vista a distribuição da frequência em 7 classes. É esperado que tais dados apresentem um comportamento da distribuição normal, conforme o encontrado na Figura 28.

Figura 28 – Histograma gerado através dos resíduos do modelo de regressão linear função nº 54



Fonte: Adaptado da ferramenta Action (ESTATCAMP, 2014a).

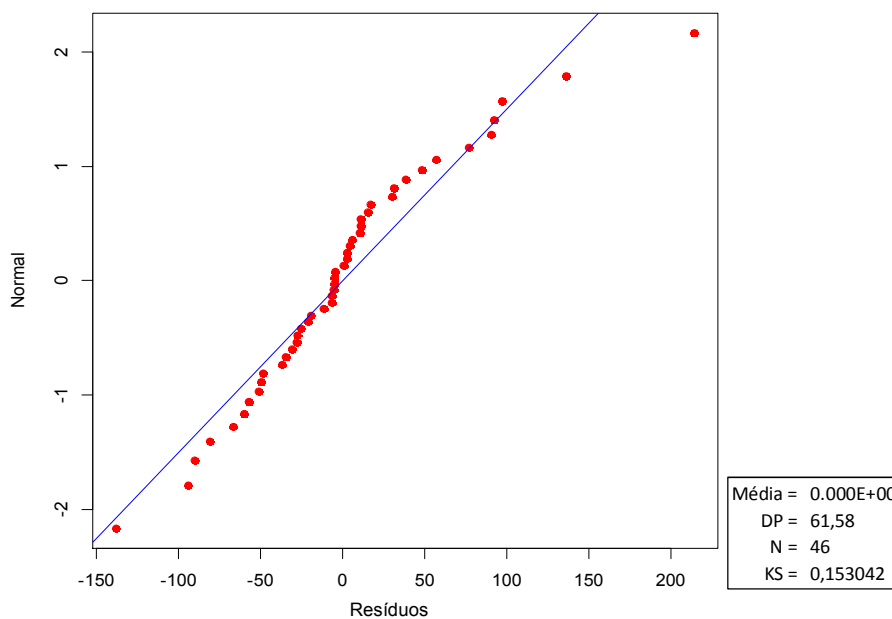
A aplicação do teste de hipótese KS aos resíduos revelou que a  $H_0$  de normalidade não deve ser rejeitada, ao nível de significância considerado (5 %) (Figura 29). Sendo assim, confirma que os dados seguem uma distribuição normal. É notável que há um ponto que se encontra mais deslocado da linha da probabilidade normal, mas, neste cenário, o teste de hipótese aplicado constatou que este não interfere na normalidade.

A última hipótese consiste na homoscedasticidade dos resíduos. Para tal diagnóstico, aplicou-se o teste de Breusch-Pagan e, de forma complementar, tendo em vista a avaliação de independência dos resíduos, submeteu-se os dados ao teste específico de Durbin-Watson.

O primeiro teste, conforme apresentado na Tabela 27, permite inferir que, a um nível de significância de 5%, aceita-se a  $H_0$  de que os resíduos em questão são homoscedásticos, já que o p-valor é superior à 0,05. Ainda, através da Figura 30A, nota-se que os resíduos estão aleatoriamente distribuídos em torno do zero, demonstrando a inexistência de tendência, assim pressupõe-se que a variância destes é homoscedástica.

Quanto ao segundo teste, sob a independência dos resíduos, constatou-se que não se pode rejeitar a  $H_0$  ao nível de significância de 5%, portanto, os mesmos são independentes (Tabela 27). A partir do gráfico dos resíduos *versus* a ordem de ocorrência (Figura 30B), também é possível identificar que não há um comportamento que se repete em determinado ponto do gráfico.

Figura 29 – Ajuste entre os resíduos da função nº 54 e a distribuição Normal – Teste de Normalidade Kolmogorov-Smirnov.



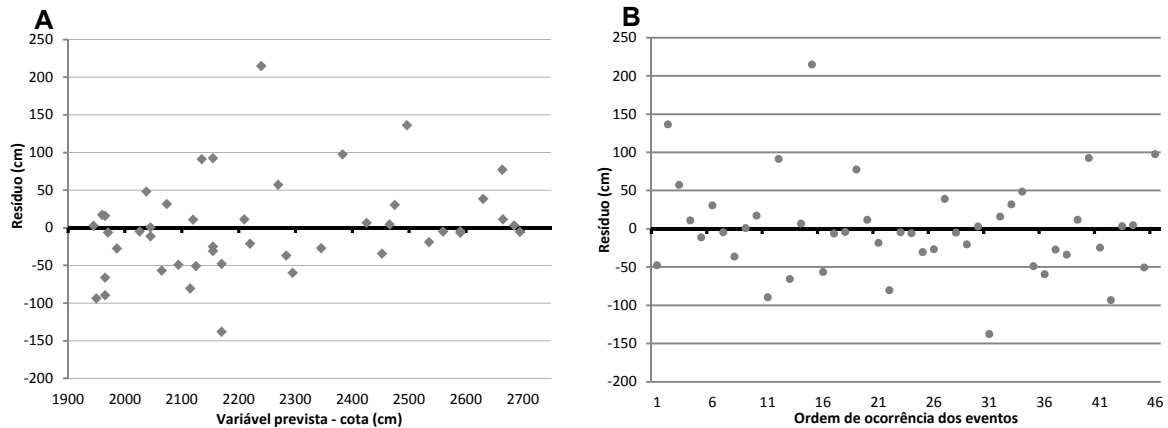
Fonte: Adaptado da ferramenta Action (ESTATCAMP, 2014a).

Tabela 27 – Resultados do teste de homoscedasticidade– Teste de Breusch-Pagan e de independência - Teste de Durbin-Watson aplicado aos resíduos da função nº 54

Teste de Breusch-Pagan		
Estatística Qui-Quadrado	GL	p-valor
2,742	1	0,097
Teste de Durbin-Watson		
Estatística DW	p-valor	
2,221	0,778	

Fonte: Adaptado da ferramenta Action (ESTATCAMP, 2014a).

Figura 30 – Gráfico dos resíduos *versus* os valores ajustado (A) e a ordem de ocorrência dos eventos utilizados (B) no modelo de regressão linear função nº 54



Fonte: (autor).

Realizadas estas avaliações, constatou-se que o modelo de regressão linear, decorrente da função nº 54, atende todas as hipóteses especificadas pelo método. A partir deste pressuposto, esta função apresentará resultados confiáveis quando aplicada.

A partir da análise gráfica dos resíduos (Figura 30), verifica-se a existência de um ponto deslocado – *outlier*, o qual se refere ao evento do dia 25/09/1988. Embora o modelo atenda todas as hipóteses, sendo considerado ótimo estatisticamente, buscou-se realizar uma nova regressão linear, similar a função nº 54, com a exclusão deste evento da série de dados, visando eliminar uma fonte de incerteza. O próximo item apresenta esta nova função elaborada, denomina função nº 54 modificada.

#### 6.4.5. Modelo de regressão linear: função nº 54 aditiva modificada

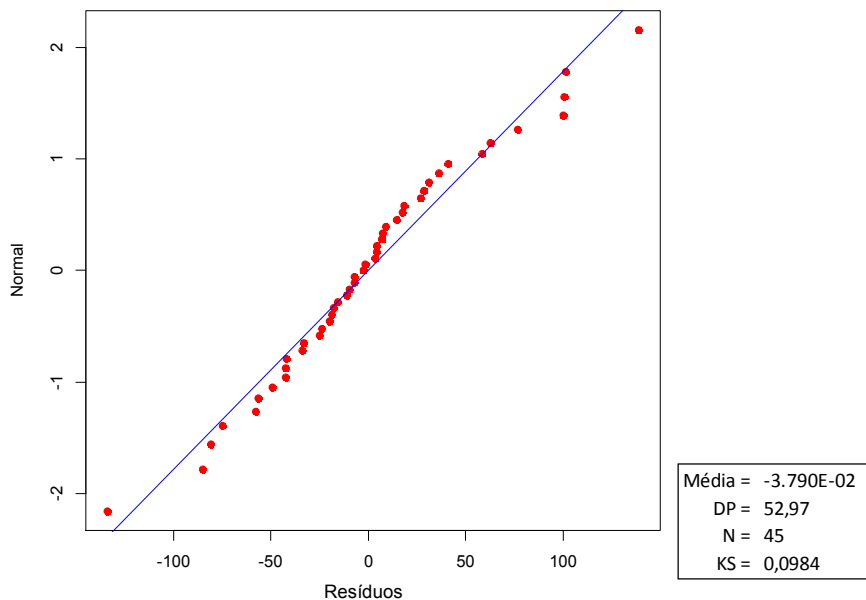
Ao realizar o novo ajuste, partindo da alteração das séries de dados de entrada da função nº 54, a significância estatística do uso das duas séries de dados (Encantado máx. e Muçum máx.) foi, novamente, verificada. Obteve-se um p-valor para a inclusão da série de Encantado igual a 4,9018E-29, e para a série de Muçum a 0,0039, indicando que é significativo o uso destas para a modelagem da cota de Estrela. Quanto aos coeficientes R e R, bem como as medidas de qualidade,

encontrou-se os melhores valores, dentre todos os testes realizados:  $R^2 = 0,948$ ;  $R = 0,973$ ;  $EQM = 2805 \text{ cm}^2$ ;  $EP = 52,97 \text{ cm}$  e um  $Nash-sutcliffe = 0,999$ .

Encontrado um novo modelo de previsão, torna-se relevante e imprescindível a verificação do atendimento das hipóteses do método, conforme apresentado no item anterior. Utilizando-se os mesmos procedimentos, verificou-se que esta nova função manteve o atendimento de todas as hipóteses: linearidade, normalidade e homoscedasticidade.

Desta forma, a sequência de tabelas e figuras apresentadas trazem os resultados de todos os testes de hipóteses aplicados, como, também, alguns dados representados graficamente. A este respeito, é conveniente destacar que houve uma melhora do ajuste dos dados à normalidade (Figura 31), da correlação das séries (Tabela 28) e o teste de homoscedasticidade resultou em melhores valores (Tabela 28 e Figura 32).

Figura 31 – Ajuste entre os resíduos e a distribuição Normal – Teste de Normalidade Kolmogorov-Smirnov.



Fonte: Adaptado da ferramenta Action (ESTATCAMP, 2014a).

Tabela 28 – Matriz de correlação das séries de cotas máximas utilizadas no modelo de regressão função nº 54 modificada

	<b>Estrela</b>	<b>Encantado</b>	<b>Muçum</b>
Estrela	1,000	0,969	0,905
Encantado	0,969	1,000	0,883
Muçum	0,905	0,883	1,000

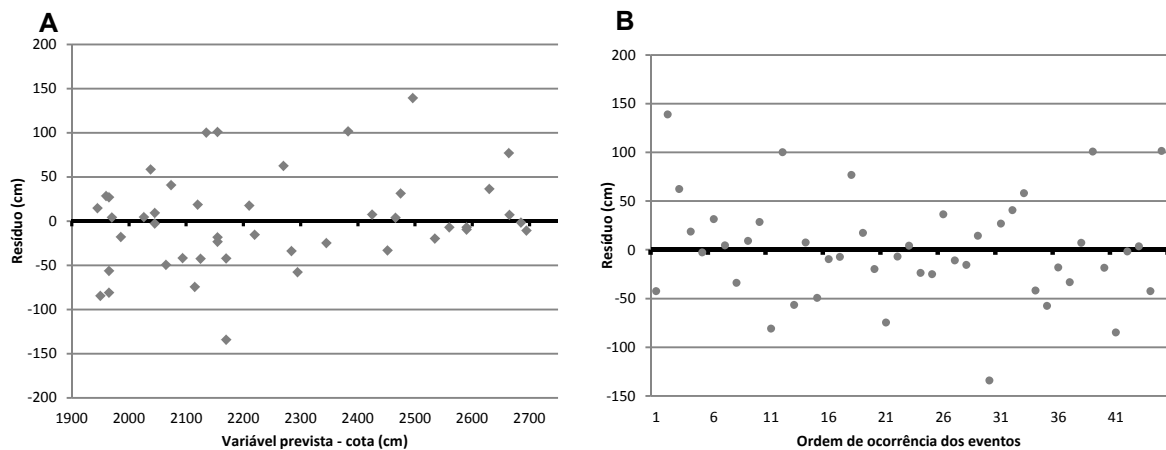
Fonte: (autor).

Tabela 29 – Resultados do teste de homoscedasticidade– Teste de Breusch-Pagan e de independência - Teste de Durbin-Watson aplicado aos resíduos da função nº 54

<b>Teste de Breusch-Pagan</b>		
<b>Estatística Qui-Quadrado</b>	<b>GL</b>	<b>p-valor</b>
0,475	1	0,490
<b>Teste de Durbin-Watson</b>		
<b>Estatística DW</b>	<b>p-valor</b>	
2,151	0,699	

Fonte: Adaptado da ferramenta Action (ESTATCAMP, 2014a).

Figura 32 – Gráfico dos resíduos *versus* os valores ajustado (A) e a ordem de ocorrência dos eventos utilizados (B) no modelo de regressão linear função nº 54 modificada



Fonte: (autor).

O modelo de regressão da função nº 54 modificada é descrito pela seguinte função:

$$cota\ Estr. = 1108,09505296 + (cota\ Enc. \times 0,62666719) + (cota\ Muçum \times 0,18766531) \quad (2)$$

Sendo:

cota Estr. = cota máxima em Estrela (cm);

cota Enc. = cota máxima em Encantado (cm);

cota Muçum = cota máxima em Muçum (cm).

A Tabela 30 mostra os intervalos de confiança para os coeficientes da regressão linear múltipla do modelo da função nº 54 modificada

Tabela 30 – Intervalos de confiança para os coeficientes da regressão linear múltipla do modelo da função nº 54 modificada.

Intervalo de confiança – função nº 54		
(nível confiança)	2,50%	97,50%
Intercepto	1025,31243	1190,877678
Coef. série cota Enc.	0,50714665	0,746187747
Coef. série cota Muçum.	0,06333963	0,311990996

Fonte: (autor).

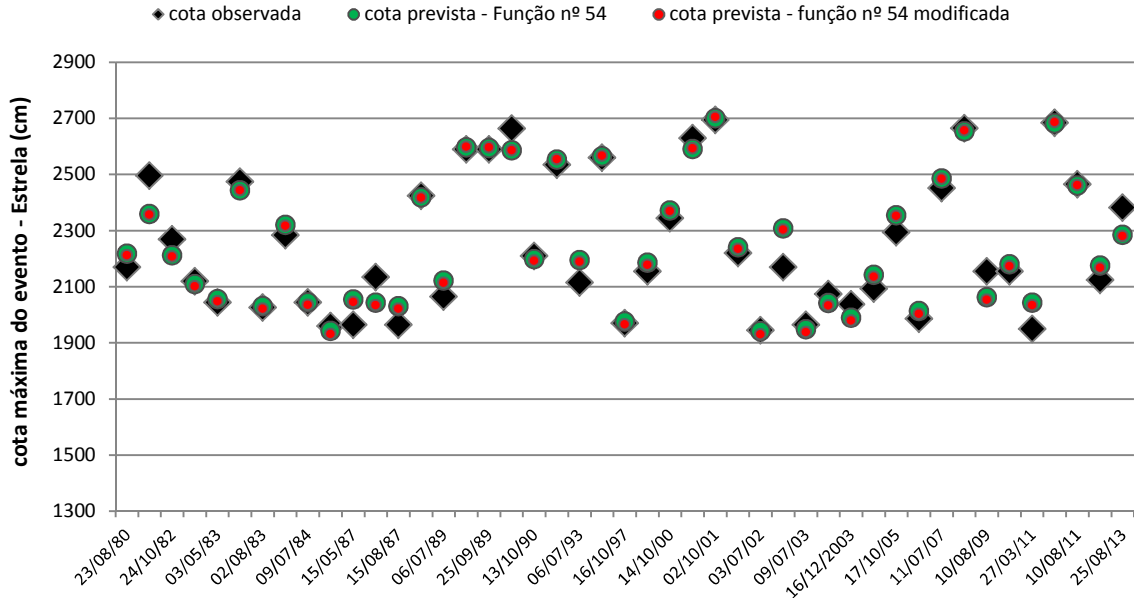
Apesar de as medidas de qualidade terem apresentado valores superiores a todos os encontrados anteriormente, através das Figuras 33 e 34 buscou-se demonstrar graficamente a diferença encontrada na previsão das cotas máximas de inundação, utilizadas no ajuste da regressão, pelas funções nº 54 e nº 54 modificada. Na maioria dos eventos, a função nº 54 modificada apresentou estimativas mais fidedignas; porém esta análise é inclusiva, devido ao fato de se ter utilizados os mesmos dados que para a modelagem, o que pode conferir tendências.

Com o intuito de identificar qual desses modelos apresenta melhor estimativa da cota máxima em Estrela, optou-se por manter neste trabalho os dois modelos e avaliar a aplicabilidade dos mesmos à eventos de inundações recentes.

É importante mencionar que estes dois modelos foram estabelecidos a partir de dados amostrais contidos entre os seguintes valores de cota: Estrela - 19,45 m e 26,95 m; Encantado – 10,20 m e 19,58; e Muçum – 8,70 m e 19,75 m. A extrapolação da equação para aquém ou além desses limites não é recomendada, uma vez que a relação entre as variáveis x e y pode não ser linear (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

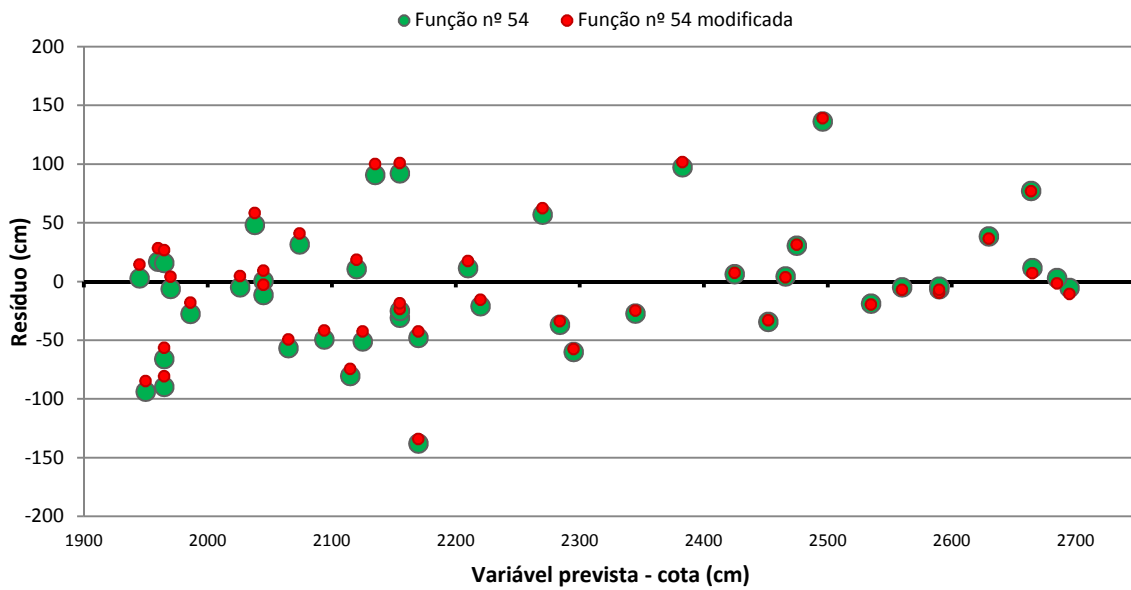


Figura 33 – Gráfico com a comparação da série de cotas máximas previstas pelos dois modelos (função nº 54 e nº 54 modificada) com a observada no município de Estrela, utilizada para ajuste da regressão



Fonte: (autor).

Figura 34 – Gráfico com a comparação dos resíduos obtidos na estimação das cotas de Estrela, pelos dois modelos (função nº 54 e nº 54 modificada)



Fonte: (autor).

#### 6.4.6. Exemplos de aplicação dos modelos de previsão elaborados

Embora este tipo de modelo seja de fácil aplicação, certo cuidado é necessário e muito importante, uma vez que este tem base puramente empírica, sem nenhuma relação com a física do processo de inundação. Nesse sentido, a presença de profissionais com certo grau de conhecimento desta temática no momento de utilização é fundamental.

Neste item, será demonstrada a aplicação dos dois modelos de previsão elaborados aos eventos de inundação mais recentes da região de estudo, que ocorreram posteriormente à elaboração dos mesmos, portanto não estão incorporados a série de dados utilizada. Não foi possível aplicá-los a eventos anteriores ao ano de 2015, em virtude da indisponibilidade de dados com intervalo de tempo inferior ao diário. Esta restrição foi adotada para melhor compreensão e comparação dos resultados, pois o deslocamento da cheia entre os municípios englobados no modelo ocorre em tempo inferior a um dia, conforme já discutido. Isto reforça a necessidade da manutenção de uma rede de monitoramento hidrológico com coleta de informações em intervalo de tempo adequado.

Para aplicação do modelo, as coletas dos dados de cotas foram realizadas através do sistema de monitoramento da Univates, disponível em <[http://netsenses.univates.br/station\\_map.php](http://netsenses.univates.br/station_map.php)>, e do sistema de previsão de enchente da bacia Taquari-Antas da CPRM, disponível em <<http://sace-taquari.cprm.gov.br/sace-taquari/#>>. No primeiro foram coletados os dados de cota de Estrela e Encantado<sup>1</sup> (linígrafos), enquanto no segundo os dados de Muçum (linígrafos).

Buscou-se aplica-los a três eventos ocorridos em julho, setembro e outubro de 2015. Entretanto, em virtude da indisponibilidade de dados do município de Muçum, não foi possível aplicar ao evento de setembro de 2015.

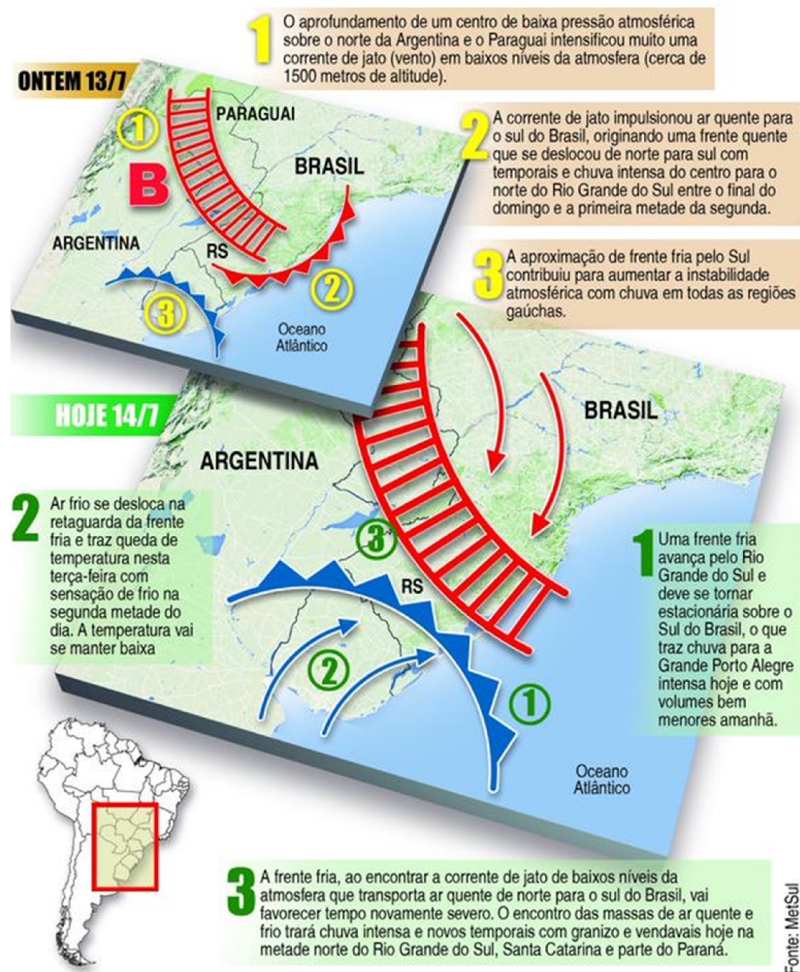
---

<sup>1</sup> Ressalta-se que os dados de cota de Encantado, coletados pela Univates, são referenciados ao nível do mar. Em virtude de os modelos terem sido gerados a partir dos dados da ANA, sem referência ao nível do mar, descontou-se o valor do nível de referência do zero, que é de 27,77 m.

#### 6.4.6.1. Evento ocorrido em julho/2015

Este evento ocorreu entre os dias 13 e 16 de julho de 2015, sendo que a cota máxima no município de Estrela foi registrada no dia 15 às 19h 30min, atingindo o valor de 21,35 m. Essa cota de inundação classificou o evento como de magnitude reduzida. As precipitações pluviométricas que ocasionaram esta inundação foram decorrentes do encontro de dois sistemas de tempo, um centro de baixa pressão atmosférica e uma frente fria, que, também, tiveram influência de uma frente quente. A Figura 35 traz detalhes do comportamento deste longo período de elevadas precipitações, com ênfase para a evolução da atuação dos sistemas de tempo.

Figura 35 – Detalhamento da atuação dos sistemas de tempo na região sul do País nos dias 13 e 14 de julho/2015.

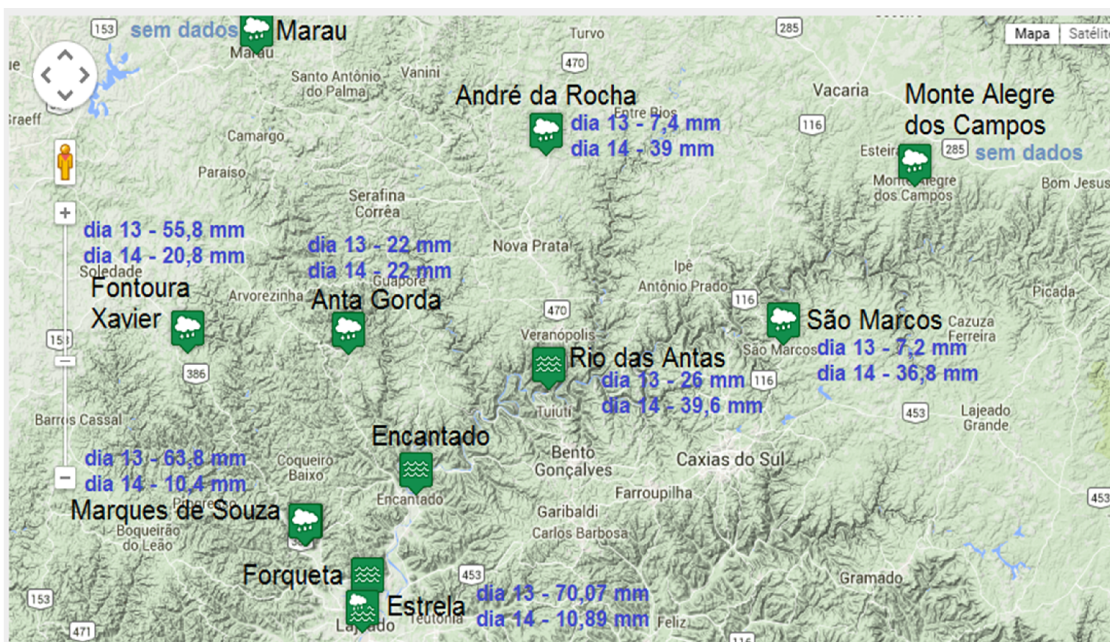


Fonte: Adaptado do blog Metsul, disponível em: < <http://www.metsul.com/blog2012/>>).

Resumidamente, as precipitações intensas na bacia hidrográfica Taquari-Antas começaram a ocorrer a partir do dia 13, resultado da atuação do centro de baixa pressão e da frente quente; no dia 14 a instabilidade ganhou força pelo avanço da frente fria. Cabe ressaltar que antes deste período o tempo já estava instável, em função de áreas de instabilidades, que ocasionaram chuva com volumes e distribuição irregular sobre a região sul do País.

Na Figura 36, é apresentada a distribuição da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica entre os dias 13 e 14 de julho, através dos dados do sistema de monitoramento da Univates (pluviógrafos). Nota-se que no dia 13, os maiores volumes de precipitação concentraram-se na porção oeste e próximo a Estrela, enquanto no dia 14 na porção leste e superior da bacia hidrográfica. No dia 15 houve o registro de baixa precipitação com distribuição irregular.

Figura 36 – Distribuição pluviométrica, na bacia hidrográfica Taquari-Antas, ocorrida entre os dias 13 e 14 de julho/2015.



Fonte: (autor).

A Tabela 31 apresenta os resultados da aplicação dos modelos ao final de cada dia, utilizando a cota máxima das estações a montante ocorrida no referido dia, como condição inicial para a previsão.



Tabela 31 – Aplicação do modelo de previsão elaborado para as cotas máximas diárias do evento de julho/2015

Data	Cota máxima diária (cm)							
	Encantado	Muçum	Estrela					
			Função nº 54			Função nº 54 modificada		
prevista	real	erro	prevista	real	erro	prevista	real	erro
13/07/2015	440	425	1485	1499	-14	1464	1499	-35
14/07/2015	910	1026	1883	1635	248	1871	1635	236
15/07/2015	1329	1442	2216	2135	81	2212	2135	77
16/07/2015	1164	1228	2076	2110	-34	2068	2110	-42

Fonte: (autor).

Verificou-se que há uma proximidade da cota prevista com a cota real ocorrida em Estrela no dia em questão, mas é muito distante do valor da cota máxima do dia seguinte. Este fato é relevante, uma vez que se tem maior interesse em prever a cota máxima que pode vir a ocorrer e não a que já ocorreu ao longo do dia, e isso se reflete também no tempo disponível para ação da Defesa Civil.

Em ambos os modelos, foram verificados erros grandes de estimativa, superior a 2 m, no dia anterior ao que ocorreu a cota mais alta. No dia do registro da cota máxima, o erro foi menor, ao redor de 0,80 m.

Partindo do exposto, e considerando a existência de dados coletados por linígrafos, em intervalo horário (e inferior), buscou-se simular a aplicação dos modelos a cada hora, inserindo como condição inicial a cota máxima ocorrida até aquele momento. A Tabela 32 expõem os resultados obtidos desta simulação.

A partir do momento em que o nível do rio Taquari atinge seu pico máximo nas estações a montante de Estrela, é possível estimar a cota máxima no município com maior da proximidade da real. Conforme destacado na tabela acima, às 12 horas verificou-se que o nível começou a baixar em Encantado e Muçum, por conseguinte, o modelo estimou melhor a cota máxima que ocorreu em Estrela. A Figura 37 expressa graficamente estes achados, evidenciando que o tempo de deslocamento do pico do evento entre Encantado e Estrela foi de 6 horas.

Desta forma, nesta aplicação foi possível estimar a cota máxima da inundação em Estrela com uma antecedência de, aproximadamente, 6 horas, pois a cota máxima do município foi registrada às 19 h 30 min. Em relação à qualidade da previsão, neste evento o modelo da função nº 54 superestimou em 81,31 cm a cota máxima em Estrela, enquanto a função nº 54 modificada superestimou 76,55 cm.

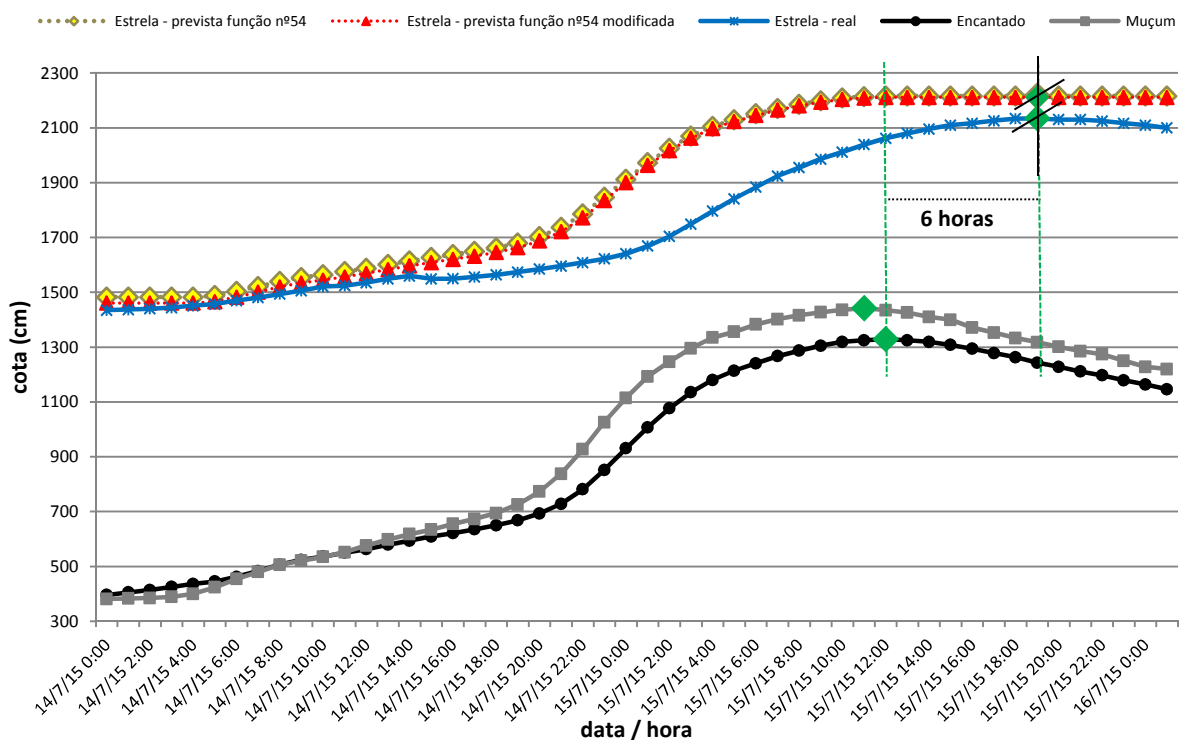
Tabela 32 – Aplicação dos modelos de previsão elaborados aos dados horários do evento de julho/2015

Data	Hora	Cota horária (cm)									
		Encantado	Muçum	máx.até o horário		Estrela					
				Encantado	Muçum	Função nº 54			Função nº 54 modificada		
						Prevista	Real	Erro	Prevista	Real	Erro
14/07/2015	12:00	563	576	563	576	1588	1535	52,82	1569	1535	34,00
	13:00	579	598	579	598	1602	1549	52,65	1583	1549	34,16
	14:00	594	618	594	618	1615	1560	54,51	1596	1560	36,31
	15:00	609	634	609	634	1627	1549	77,64	1609	1549	59,72
	16:00	621	655	621	655	1638	1550	87,82	1620	1550	70,18
	17:00	635	673	635	673	1650	1556	93,70	1632	1556	76,33
	18:00	650	694	650	694	1663	1564	98,73	1646	1564	81,67
	19:00	668	726	668	726	1680	1574	105,59	1663	1574	88,95
	20:00	693	773	693	773	1703	1585	118,46	1687	1585	102,44
	21:00	728	838	728	838	1737	1596	140,75	1722	1596	125,57
	22:00	781	927	781	927	1785	1609	176,45	1771	1609	162,49
	23:00	852	1026	852	1026	1847	1622	225,07	1835	1622	212,56
15/07/2015	00:00	931	1115	931	1115	1912	1641	270,83	1901	1641	259,77
	01:00	1007	1193	1007	1193	1973	1669	303,76	1963	1669	294,03
	02:00	1077	1247	1077	1247	2026	1704	321,69	2017	1704	313,03
	03:00	1135	1296	1135	1296	2070	1749	321,30	2063	1749	313,58
	04:00	1180	1335	1180	1335	2105	1796	309,09	2098	1796	302,10
	05:00	1214	1356	1214	1356	2130	1841	288,86	2123	1841	282,34
	06:00	1241	1383	1241	1383	2151	1884	267,38	2145	1884	261,33
	07:00	1267	1402	1267	1402	2171	1924	246,85	2165	1924	241,19
	08:00	1287	1416	1287	1416	2186	1955	230,71	2180	1955	225,35
	09:00	1305	1427	1305	1427	2199	1986	212,80	2194	1986	207,69
	10:00	1319	1436	1319	1436	2209	2012	197,06	2204	2012	192,16
	11:00	1325	1442	1325	1442	2214	2039	174,84	2209	2039	170,04
	<b>12:00</b>	1329	1435	<b>1329</b>	<b>1442</b>	<b>2216</b>	2062	154,31	<b>2212</b>	2062	149,55
	13:00	1325	1426	1329	1442	2216	2080	136,31	2212	2080	131,55
	14:00	1319	1410	1329	1442	2216	2096	120,31	2212	2096	115,55
	15:00	1308	1400	1329	1442	2216	2110	106,31	2212	2110	101,55
	16:00	1294	1371	1329	1442	2216	2117	99,31	2212	2117	94,55
	17:00	1278	1353	1329	1442	2216	2126	90,31	2212	2126	85,55
18:00	1263	1333	1329	1442	2216	2134	82,31	2212	2134	77,55	
<b>19:00</b>	1243	1318	<b>1329</b>	<b>1442</b>	<b>2216</b>	<b>2135</b>	<b>81,31</b>	<b>2212</b>	<b>2135</b>	<b>76,55</b>	
20:00						2130			2130		
21:00						2130			2130		
22:00						2125			2125		

Fonte: (autor).

Ambos os modelos proporcionaram resultados da cota máxima muito próxima a real (conforme é destacado na Figura 37). Embora no período anterior ao pico estes superestimaram muito a cota de inundação, o que permite identificar a existência de efeito de amortecimento na região, que não se conseguiu modelar. Tal efeito pode ser derivado do represamento realizado a jusante no município de Bom Retiro do Sul, em função de uma eclusa que possibilita a navegação.

Figura 37 – Gráfico da evolução das cotas do rio Taquari nas estações de Muçum, Encantado e Estrela; e da cota prevista para Estrela pelos modelos de regressão elaborados – evento de julho/2015



Fonte: (autor).

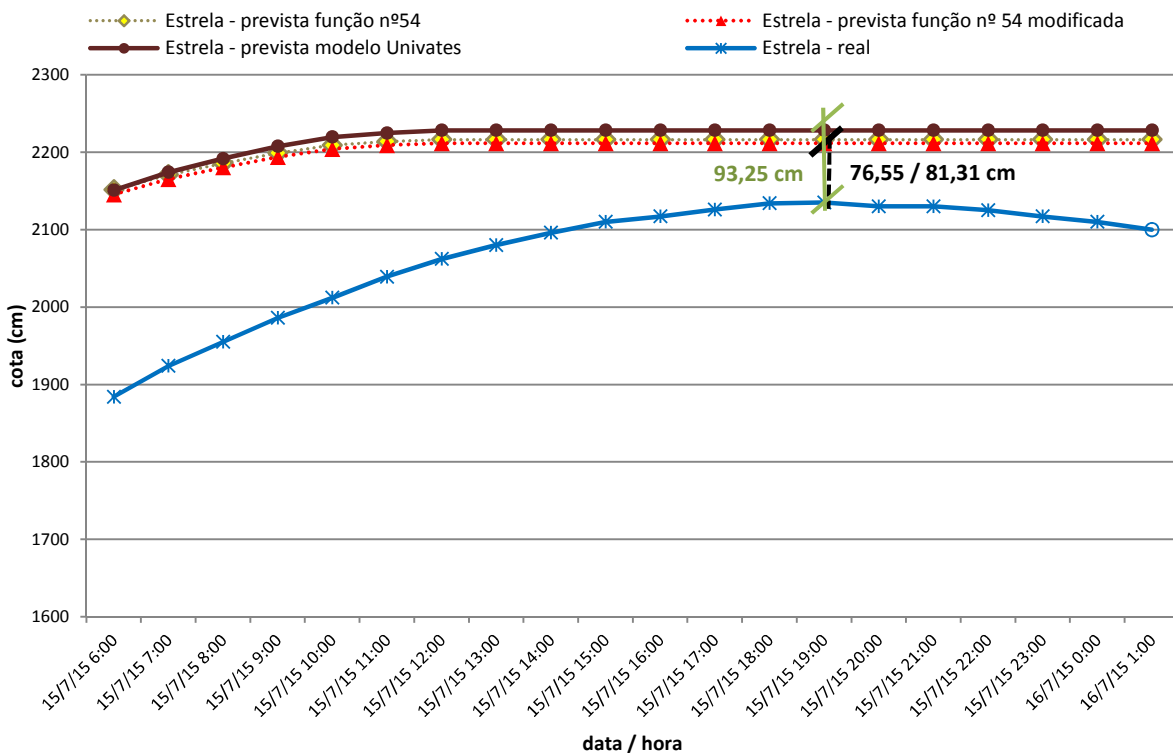
Com isso verifica-se que o modelo de previsão produz melhores resultados se aplicado em situações com intervalo de tempo inferior ao diário. Resumidamente, percebe-se que a antecedência deste modelo é praticamente inexistente e o horizonte da previsão é instantâneo (questão de horas).

A fim de comparações, o resultado gerado pelo modelo desenvolvido neste estudo foi comparado aquele publicado pelo SPAE (Diedrich et al., 2010), cuja

equação já foi apresentada (item 4.2.3). A série de cotas horárias foi utilizada para este fim.

Identificou-se que os modelos elaborados neste estudo proporcionaram melhores resultados, superestimando menos a cota máxima em Estrela (81,31 cm função nº 54 e 76,55 cm função nº 54 modificada, contra 93,25 cm pelo modelo da Univates), conforme é destacado na Figura 38. De forma percentual, verifica-se uma superestimativa de 3,80 %; 3,58 % e 4,36 %, respectivamente. A apresentação desta diferença no formato de percentual, possibilita uma melhor interpretação dos resultados, reforçando que a função nº 54 modificada teve uma melhor aplicação a este evento.

Figura 38 – Gráfico da comparação da cota do rio Taquari em Estrela prevista pelo modelo de regressão elaborado no estudo e modelo da Univates com a cota real – evento de julho/2015



Fonte: (autor).



#### 6.4.6.2. Evento ocorrido em outubro/2015

Este segundo evento utilizado, ocorreu entre os dias 08 e 10 de outubro de 2015, atingindo a cota máxima em Estrela de 24,51 m, no dia 10 às 02 horas. O sistema de tempo atuante neste período foi uma frente fria, que iniciou o ingresso no estado no dia 07 e afastou por completo ao final do dia 10. Na região, ocorrem os maiores volumes de precipitação no dia 08, conforme informação do CIH.

Como para o evento anterior, procurou-se avaliar a distribuição pluviométrica na bacia hidrográfica durante o período antecedente ao evento. Ao contrário do esperado, tal avaliação não foi possível, devido a problemas no funcionamento das estações pluviométricas do sistema de monitoramento da Univates. Esta questão ressalta a importância de existir mais que uma fonte de coleta de dados, para garantir um bom sistema de previsão e alerta.

Feita esta análise inicial, aplicou-se os modelos elaborados aos dados coletados com intervalo horário para prever a cota máxima do evento no município de Estrela, tendo em vista como dado de entrada a cota máxima registrada até o momento nas estações a montante. Tais resultados são apresentados na Tabela 33.

Tabela 33 – Aplicação dos modelos de previsão elaborados aos dados horários do evento de outubro/2015

(continua)

Data	Hora	Cota horária (cm)									
		Encantado	Muçum	máx. até o momento		Estrela					
				Encantado	Muçum	Função nº 54			Função nº 54 modificada		
						Prevista	Real	Erro	Prevista	Real	Erro
08/10/2015	20:00	986	1106	986	1106	1944	1799	145,18	1934	1799	134,55
	21:00	1042	1166	1042	1166	1990	1845	144,53	1980	1845	134,90
	22:00	1097	1217	1097	1217	2033	1890	142,65	2024	1890	133,94
	23:00	1142	1266	1142	1266	2069	1936	133,24	2061	1936	125,33
09/10/2015	00:00	1185	1312	1185	1312	2104	1979	125,05	2097	1979	117,91
	01:00	1225	1358	1225	1358	2137	2017	120,01	2131	2017	113,61
	02:00	1266	1415	1266	1415	2173	2055	117,56	2167	2055	112,00
	03:00	1316	1470	1316	1470	2213	2090	123,31	2209	2090	118,66
	04:00	1363	1531	1363	1531	2253	2125	128,28	2250	2125	124,56
	05:00	1410	1583	1410	1583	2292	2156	135,64	2289	2156	132,77

Tabela 33 – Aplicação dos modelos de previsão elaborados aos dados horários do evento de outubro/2015.

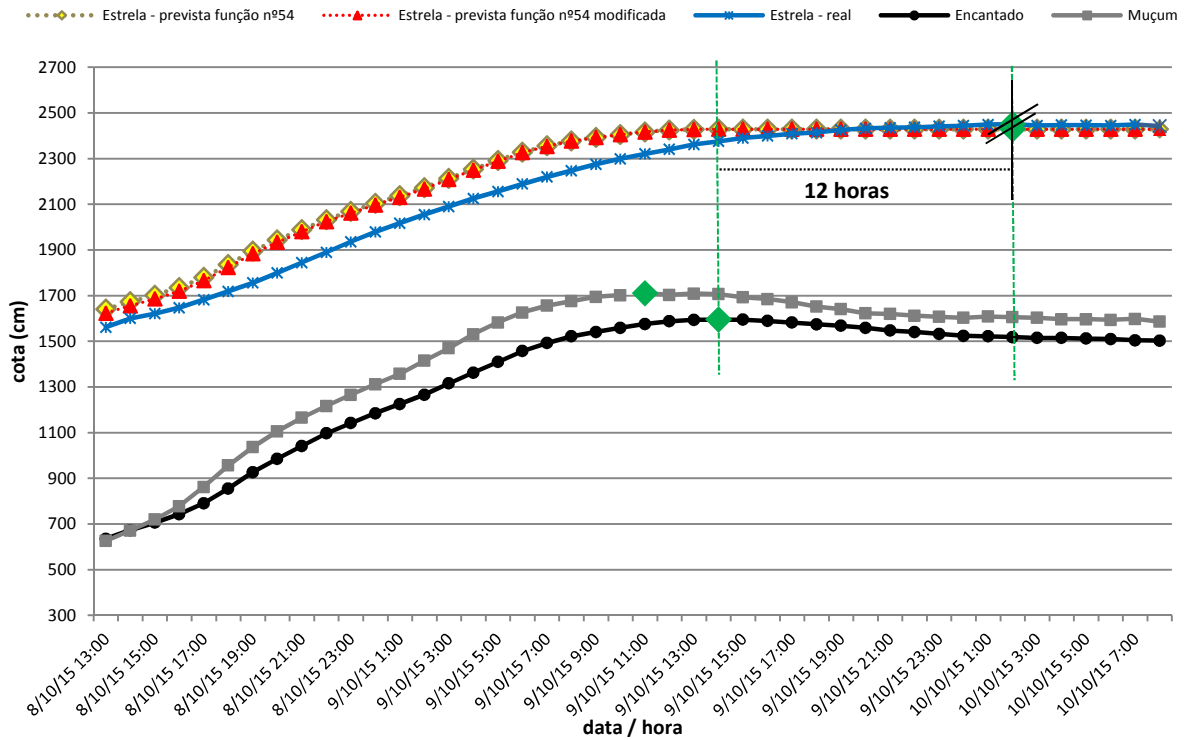
(conclusão)

Data	Hora	Cota horária (cm)									
		Encantado	Muçum	máx. até o momento		Estrela					
				Encantado	Muçum	Função nº 54			Função nº 54 modificada		
						Prevista	Real	Erro	Prevista	Real	Erro
09/10/2015	06:00	1457	1626	1457	1626	2328	2189	139,39	2326	2189	137,29
	07:00	1492	1656	1492	1656	2355	2220	135,39	2354	2220	133,86
	08:00	1522	1676	1522	1676	2378	2247	130,50	2376	2247	129,41
	09:00	1541	1695	1541	1695	2393	2275	117,65	2392	2275	116,88
	10:00	1559	1702	1559	1702	2405	2299	106,02	2404	2299	105,48
	11:00	1576	1710	1576	1710	2417	2321	95,96	2417	2321	95,63
	12:00	1588	1703	1588	1710	2424	2340	84,37	2424	2340	84,15
	13:00	1594	1709	1594	1710	2428	2362	66,07	2428	2362	65,91
	<b>14:00</b>	1595	1707	<b>1595</b>	<b>1710</b>	<b>2428,69</b>	2375	53,69	<b>2428,54</b>	2375	53,54
	15:00	1595	1693	1595	1710	2428,69	2390	38,69	2428,54	2390	38,54
	16:00	1589	1685	1595	1710	2428,69	2399	29,69	2428,54	2399	29,54
	17:00	1582	1671	1595	1710	2428,69	2409	19,69	2428,54	2409	19,54
	18:00	1574	1652	1595	1710	2428,69	2414	14,69	2428,54	2414	14,54
	19:00	1568	1641	1595	1710	2428,69	2425	3,69	2428,54	2425	3,54
	20:00	1559	1623	1595	1710	2428,69	2432	-3,31	2428,54	2432	-3,46
21:00	1547	1620	1595	1710	2428,69	2435	-6,31	2428,54	2435	-6,46	
22:00	1541	1612	1595	1710	2428,69	2437	-8,31	2428,54	2437	-8,46	
23:00	1532	1607	1595	1710	2428,69	2441	-12,31	2428,54	2441	-12,46	
10/10/2015	00:00	1524	1603	1595	1710	2428,69	2444	-15,31	2428,54	2444	-15,46
	01:00	1522	1609	1595	1710	2428,69	2449	-20,31	2428,54	2449	-20,46
	<b>02:00</b>	1518	1606	1595	1710	<b>2428,69</b>	<b>2451</b>	<b>-22,31</b>	<b>2428,54</b>	<b>2451</b>	<b>-22,46</b>
	03:00						2445			2445	
	04:00						2447			2447	
	05:00						2446			2446	
06:00						2445			2445		

Fonte: (autor).

Neste evento, a diferença da cota prevista por ambos os modelos é praticamente inexistente. Por sua vez, em comparação com a cota máxima real, tais previsões subestimaram esta em torno de 22 cm; mostrando-se melhor do que para o exemplo anterior. Neste evento o tempo transcorrido entre o pico da inundação em Encantado e Estrela foi de 12 horas, ou seja, o dobro do tempo do obtido para o outro exemplo (Figura 39).

Figura 39 - Gráfico da evolução das cotas do rio Taquari nas estações de Muçum, Encantado e Estrela; e da cota prevista para Estrela pelos modelos de regressão elaborados – evento de outubro/2015

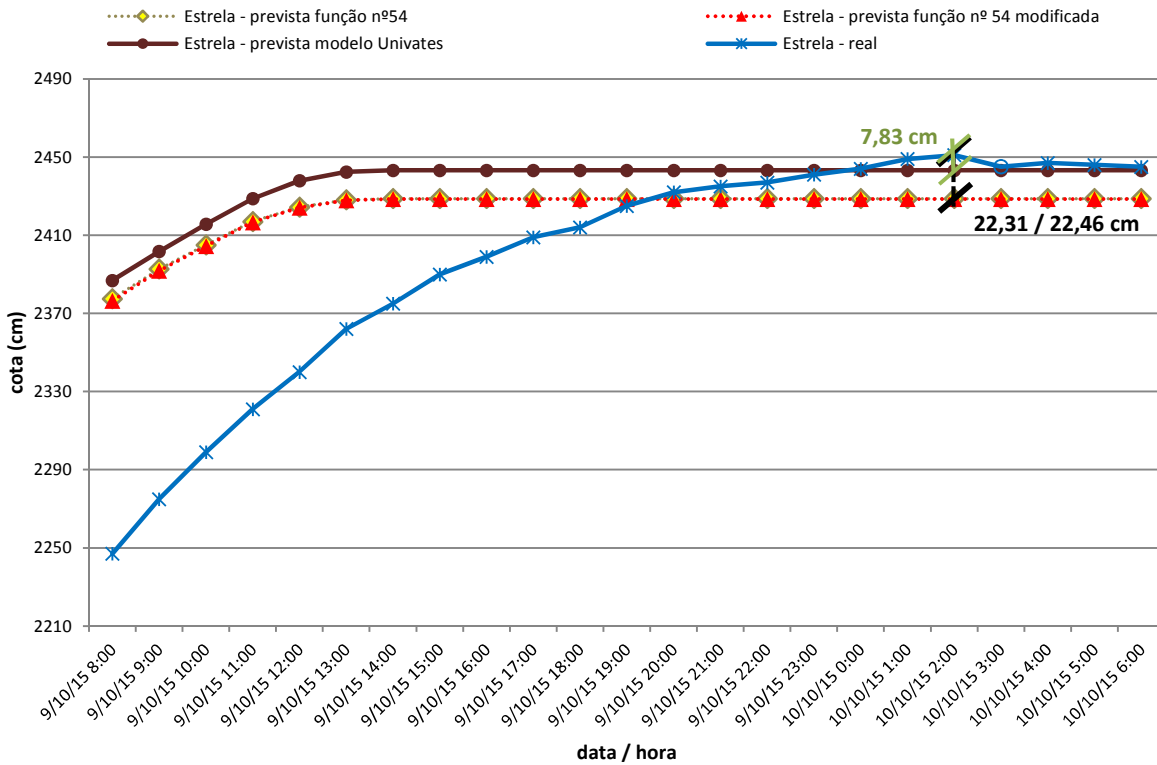


Fonte: (autor).

Contraponto o esperado, a aplicação do último modelo do Sistema de Previsão e Alerta de Enchentes da Univates a este evento, sob as mesmas condições, proporcionou os melhores resultados para a previsão da cota máxima em Estrela (Figura 40).

O erro encontrado foi muito baixo (-7,83 cm), o que deixou evidente que para este evento o modelo da Univates teve melhor ajuste, em comparação aos elaborados neste estudo, apresentando um erro de subestimativa de 0,32 %, enquanto os demais superestimaram em cerca de 0,93 % a cota máxima real de Estrela. Apesar desta situação, salienta-se que os modelos elaborados apresentaram bons resultados, uma vez que o erro obtido para este evento foi bem pequeno, 22 cm, e superou a qualidade da aplicação obtida no evento anterior.

Figura 40 - Gráfico da comparação da cota do rio Taquari em Estrela prevista pelo modelo de regressão elaborado no estudo e modelo da Univates com a cota real – evento de outubro/2015



Fonte: (autor).

Vale notar que, somente a partir dos resultados de duas aplicações dos modelos elaborados, não é possível comprovar com toda a certeza que estes são/ou não eficazes e melhor que os existentes para a previsão da cota máxima de inundação no município de Estrela. Logo, é necessário manter esta avaliação por um período significativo, englobando, inclusive, eventos de todas as estações climatológicas do ano. Assim, poderá se obter uma média de erro de estimativa da cota máxima, bem como a avaliação do tempo entre os picos dos municípios em questão.

Como já mencionado, apesar de o modelo de regressão ter sido elaborado a partir de séries de dados da ANA, com intervalo temporal diário, o mesmo objetivou ser aplicado, também, a série de dados com disponibilidade temporal inferior. Desta forma, no Apêndice C é descrito um breve roteiro de execução do modelo de previsão elaborado para a região de estudo, utilizando dados com disponibilidade temporal inferior à diária.

#### 6.4.7. Considerações finais do item

Considerando as 59 composições de modelos de regressão linear testadas, verificou-se que as séries de precipitação média acumulada em “x” dias anteriores não apresentaram influência significativa para a previsão da cota máxima de inundação de Estrela. Tal resultado pode estar associado à baixa correlação de Pearson verificada entre as séries de precipitação e de cota máxima de Estrela.

Entretanto, constatou-se que dados de cota máxima da estação fluviométrica de Muçum influenciaram significativamente nesta modelagem. Assim, sugere-se que o sistema de monitoramento de variáveis hidrológicas implantado pela Univates inclua um ponto de monitoramento junto a esta seção. Os dados coletados neste ponto podem subsidiar o desenvolvimento de futuros modelos de previsão para a região.

Uma vez identificada a necessidade dos dados desta seção fluviométrica, estes devem ser consultados no sistema de monitoramento da CPRM. A existência de duas, ou mais redes de monitoramento com compartilhamento de informações confere economia de recursos. Por outro lado, se uma informação é imprescindível e está indisponível em certo momento pode inviabilizar uma ação.

Observou-se tal problema neste estudo no momento que se buscou aplicar o modelo encontrado ao evento que ocorreu em setembro de 2015. Como não há monitoramento pelo sistema da Univates na seção de Muçum, e no sistema da CPRM esta seção estava temporariamente sem dados disponíveis, não foi possível apresentar outra aplicação do modelo.

Ainda, quanto às séries das variáveis utilizadas para propor o modelo, verificou-se que as séries de cotas ocorridas a montante (em Encantado e Muçum) no mesmo dia do evento de inundação máximo em Estrela, bem como no dia anterior, não apresentam elevado valor do coeficiente R com a série de cota máxima do município principal. Somente há uma boa correlação com as séries de cota máxima do evento ocorrida nas estações a montante, sem guardar relação temporal referenciada ao intervalo de tempo diário. Esse resultado possivelmente está associado à igualdade do tempo de concentração nas três estações, do ponto de vista dos dados diários.

Dados estes aspectos, nota-se que o deslocamento da onda de inundação entre as estações é inferior a um dia. Então, se a elevação do rio iniciar no período

da noite, as cotas máximas podem ocorrer em dias diferentes em algumas estações, o que reflete em uma baixa correlação das séries de dados no dia e dia anterior do evento.

Nesta mesma linha, é preciso reconhecer a influência dos erros não aparentes (não constados) nas séries de cota, como, por exemplo, os erros de anotação do exato momento de ocorrência da cota máxima da inundação, já que é realizada manualmente.

Por fim, este item identificou que os melhores modelos de regressão linear, capazes de prever com significância estatística a cota máxima de inundação em Estrela, constituem-se pela função nº 54 original e modificada (eq. 1 e 2). Os exemplos de aplicação demonstraram bons resultados para ambos os modelos, porém não geraram argumentos suficientes para identificação de qual é o melhor. Entretanto, considerando as avaliações até o momento, bem como os elevados valores das medidas de qualidade na sua elaboração; sugere-se a aplicação do modelo da função nº 54 modificada.

Cabe aqui destacar que o tempo entre os picos de inundação no município de Encantado e Estrela, ou seja, o tempo de deslocamento da onda máxima, resultante nos exemplos de aplicação, não se refere a um padrão, sendo variável em cada situação. Diversos fatores influenciam neste aspecto, dentre eles cita-se o principal: as condições antecedentes de umidade no solo da sub-bacia, sobretudo na região plana. Se o evento de inundação procede a um período úmido, é evidente que o tempo de deslocamento do pico entre as seções fluviométricas será inferior ao que ocorre em situação de umidade normal.

## 7. CONCLUSÃO

A partir dos resultados apresentados, verificou-se que o objetivo geral do presente estudo foi alcançado, considerando a metodologia utilizada. Concluiu-se que o modelo de regressão linear consistido pela equação identificada como função n.º 54 modificada proporcionou os melhores resultados para a previsão, de curto prazo, das inundações em Estrela, na região do Vale do Taquari. Tal modelo baseia-se nas cotas máximas a montante no município de Muçum e Encantado e, em função do tempo de pico entre os municípios ser inferior a um dia, recomenda-se a aplicação de forma horária.

Contrariando o esperado, constatou-se que a precipitação média acumulada na sub-bacia, nos dias anteriores ao evento, não apresenta significância estatística na composição do modelo de regressão. Neste sentido, as etapas específicas, realizadas ao longo deste estudo para atingir o principal objetivo, demonstraram-se fundamentais à compreensão do comportamento da bacia hidrográfica em resposta a eventos de chuvas significativas para a formação das cheias e inundações na região.

A bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas apresenta rápida resposta à maioria dos eventos de chuvas com elevados volumes, conforme revelou a avaliação do tempo de concentração das principais sub-bacias, do tempo de pico entre os municípios com monitoramento a montante de Estrela e das características físicas da bacia. Assim, destaca-se a necessidade de modelos de previsão de curto prazo.

Quanto à verificação da rede de monitoramento hidrológico da bacia hidrográfica em questão, identificou-se que há necessidade de uma rede com melhor qualidade, tanto espacialmente, quanto temporalmente. Tal questão foi ressaltada não só pela avaliação da rede de monitoramento atual, operada pela ANA, como na análise morfométrica. Encontraram-se inúmeras dificuldades para o entendimento da formação das inundações e elaboração do modelo de previsão, em virtude da escassez de dados de monitoramento.

Por fim, através dos resultados encontrados, conclui-se que modelos de regressão, de caráter empírico e concentrado, que utilizam poucas variáveis de entrada, como os determinados neste estudo, são de fácil elaboração e operação, e também proporcionam resultados satisfatórios para a bacia hidrográfica estudada. Portanto, nem sempre a complexidade do modelo é sinônimo de melhor eficácia,

uma vez que necessita maior tempo de manuseio e mais conhecimento específico por parte do operador.

Resumidamente, este estudo conferiu resultados satisfatórios à área acadêmica e, futuramente, poderá proporcionar uma contribuição social significativa, dada a sua continuidade e aplicabilidade. Têm-se como recomendações a estudos futuros sequenciais:

- testar a aplicabilidade do melhor modelo obtido com o uso da precipitação como variável explicativa, para a previsão de cheias em longo prazo, avaliando se é possível a identificação de alguma tendência a inundações.

- testar modelos de regressão múltipla não linear, uma vez que neste estudo sempre se buscou linearizar os dados. Apesar dos resultados terem sido satisfatórios com modelos lineares, não se descarta a possibilidade de uma melhor previsão com outras técnicas de regressão.

- avaliar a elaboração de modelo de regressão, similar aos desta pesquisa, com o uso das cotas dos municípios de Encantado e Muçum, mas com a precipitação média ocorrida na área complementar da sub-bacia de Encantado, variando o período de acúmulo (ou seja, somente utilizando a precipitação ocorrida na região que não é explicada pelas cotas usadas no modelo). Uma hipótese não contemplada neste estudo é de que a correlação entre dessas séries de precipitação de média apresentem maior correlação com os dados das cotas máximas de Estrela, uma vez que o comportamento hidrológico desta área não é explicado (embutido) pelos dados de cotas de Encantado.

- elaborar modelos de regressão em função do sistema de tempo atuante, que originou a chuva e desencadeou a inundações na região em questão. Isto porque, em função da extensão da bacia hidrográfica, as chuvas com origem de sistemas frontais apresentam um comportamento da espacialização da precipitação média diferente de chuvas com origem convectivas. Desta forma, a precipitação poderia tornar-se uma variável significativa no modelo em alguma situação.

- aplicar modelos de transformação chuva-vazão, concentrado e/ou distribuído, tendo como subsídio os mesmos dados para realizar comparações com os resultados do presente estudo, dado o fato da precipitação não apresentar influência significativa na regressão múltipla.



## REFERÊNCIAS

AHPS. Advanced Hydrologic Prediction Service. **About**. USA, 2014. Disponível em: <<http://water.weather.gov/ahps/about/about.php>>. Acesso em: 07 set. 2014.

AYOADE, J. O. Sistemas produtores de Tempo (cap. 6), Precipitação (cap. 8). In: \_\_\_\_\_. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Tradução de Maria Juraci Z. dos Santos, Suely Bastos, Antonio Christofolletti. 4 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

BAENA, L. G. N.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; CALIJURI, M. L. Regionalização de vazões com base em modelo digital de elevação para a bacia do rio Paraíba do Sul. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.3, p.612-624, set./dez. 2004.

BAYLISS, A. C.; REED, D.W. **The use of historical data in flood frequency estimation**. Oxfordshire, Wallingford: Centre for Ecologt and Hydrology, 2001.

BDR. Banco de Dados Regional. **Perfil Socioeconômico do Vale do Taquari**. Lajeado: UNIVATES, 2011. Disponível em: <[https://www.univates.br/media/bdr/Perfil\\_VT\\_Setembro\\_2011.pdf](https://www.univates.br/media/bdr/Perfil_VT_Setembro_2011.pdf)>. Acesso em: 21 jul. 2014.

BEIJO, L. A.; MUNIZ, J. A.; NETO, P. C. Tempo de retorno das precipitações máximas em Lavras (MG) pela distribuição de valores extremos do tipo I. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 3, p. 657-667, mai./jun., 2005.

BELTRAME, L. F. S.; COLLISCHONN, W. **Projeto de pesquisa**: Previsão de vazões Afluentes a Reservatórios de Usinas Hidrelétricas nas Bacias Hidrográficas dos Rios Pelotas e Taquari-Antas com Base em Previsão Quantitativa de Chuva (concluído). Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Universidade Federal de Santa Maria (UFRGS), 2012.

BLOM, G. **Statistical estimates and transformed beta-variables**. New York: John Wiley, Almquist und Wiksell, 1958. Disponível em: < Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bimj.19610030410/abstract>>. Acesso em: 09 set. 2014.

BLUMENAU. Prefeitura Municipal. **Sistema de Monitoramento e Alerta de Eventos Extremos de Blumenau – ALERTABLU**. Disponível em: < <http://alertablu.cob.sc.gov.br/d/>>. Acesso em: 22 jan. 2016.

BOMBASSARO, M.; ROBAINA, L. E.S. Contribuição Geográfica para o estudos das Inundações na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas, RS. **Revista Geografias**, vol. 06, nº 2, p. 69-86, jul-dez 2010.

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, Serra Negra, 2008. **Anais...** Serra Negra, 2008. Disponível em:

<<http://ensino.univates.br/~chaet/Materiais/Modelagem/trab01000140.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2014.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. Brasília: Ministério das Cidades, Instituto de Pesquisas Tecnológicas-IPT, 2007.

\_\_\_\_\_. Ministério da Integração Nacional. **Anuário Brasileiro de Desastres Naturais: 2012**. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. Brasília: CENAD, 2012a.

\_\_\_\_\_. Lei n. 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC... **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 11 abr. 2012b. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm)>. Acesso em: 07 set. 2014.

\_\_\_\_\_. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Entidades vinculadas – CEMADEN**. Disponível em: <<http://www.mcti.gov.br/cemaden>>. Acesso em: 22 dez. 2015.

BRUTSAERT, W. Elements of frequency analysis in hydrology (cap. 13). In: \_\_\_\_\_. **Hydrology - An introduction**. Cornell University, New York: Cambridge, 2005.

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

CASTILHO, A. S. Operação do Sistema de Alerta contra Enchentes na Bacia do Rio Doce. In: III SEMINÁRIO DE ÁGUA-NEGÓCIO (SMEA), Governador Valadares, 2002. **Anais eletrônicos...** Governador Valadares, 2002. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/alerta/artigos/artigo2002.pdf> . Acesso em: 14 jun. 2014.

CASTILHO, A.S.; DAVIS, E.G. Previsão Hidrológica de Vazões para as Cidades de Resplendor, Colatina e Linhares Utilizando o Método das Diferenças. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, ABRH: Curitiba, 2003. **Anais eletrônicos...** Curitiba, 2003. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/alerta/artigos/artigo2003.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2014.

CASTILHO, A.S.; OLIVEIRA, L.M. Previsão Hidrológica de Vazões para a Cidade de Governador Valadares Utilizando Modelo Linear de Propagação. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, ABRH: Aracaju, 2001. **Anais eletrônicos...** Aracaju, 2001. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/alerta/site/bibliografia.html>>. Acesso em: 28 ago. 2014.

CASTILHO, A.S.; OLIVEIRA, L.M., MEDEIROS, M.J. O Sistema de Alerta Contra Enchentes na Bacia do Rio Doce. In: IV DIÁLOGO INTERAMERICANO DE GERENCIAMENTO DE ÁGUAS. Foz do Iguaçu, 2001. **Anais eletrônicos...** Foz do Iguaçu, 2001. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/alerta/site/bibliografia.html>>. Acesso em: 28 ago. 2014.

CASTRO, A. L. C. (org.); MOURA, A. Z. B.; CALHEIROS, L. B. **Glossário de Defesa Civil Estudos de Riscos e Medicina de Desastres**. 5. ed. rev. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2009.

CATALUNHA, M.J.; SEDIYAMA, G.C.; LEAL, B.G.; SOARES, C.P.B.; RIBEIRO, A. Aplicação de cinco funções densidade de probabilidade a séries de precipitação pluvial no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.10, p.153-162, 2002.

CEMADEN. **Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais**. Disponível em: <<http://www.cemaden.gov.br/index.php>>. Acesso em: 22 dez. 2015.

CHATFIELD, C. Forecasting (cap. 5) In: \_\_\_\_\_. **The analysis of time series: An Introduction**. 5 ed. New York: Chapman & Hall/CRC, 1996.

CHENG, C. T.; CHAU, K. W.; LI, X. Y.; LI, G. Developing a Web-based flood forecasting system for reservoirs with J2EE / Développement sur Internet avec J2EE d'un système de prévision de crue pour barrages, **Hydrological Sciences Journal**, vol. 49 (6), p. 973-986, dez, 2004.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Hidrología Aplicada**. Tradução Juan G. Saldarriaga. Santafé de Bogotá, Colômbia: McGRAW-HILL Interamericana S.A., 1994.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica das bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfológica**, vol. 9, nº 18, p. 35-64, Campina, dez. 1969.

CIH. Centro de Informações Hidrometeorológicas. **Dados sobre as inundações na bacia hidrográfica Taquari-Antas e atualização do modelo de previsão de enchente** (informações não publicadas). Lajeado: UNIVATES, 2013.

\_\_\_\_\_. **Dados sobre as inundações na bacia hidrográfica Taquari-Antas** (informações não publicadas). Lajeado: UNIVATES, 2014.

COLLISCHONN, W. **Simulação Hidrológica de Grandes Bacias**. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2001.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Notícia: CPRM adquire 46 estações telemétricas para o Sistema de Informações de Alerta de Cheias e Inundações**. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?inoid=2570&sid=48>>. Acesso em 07 set. 2014.

\_\_\_\_\_. **Sistema de monitoramento e alerta de enchente do Vale do Taquari** (em construção). Disponível em: < <http://sace-taquari.cprm.gov.br/sace-taquari/#>>. Acesso em: 25 jul. 2015.

CUNHA, G. R. **La Ninã e a agricultura no sul do Brasil**. 2003. Disponível em : <<http://cnpt.embrapa.br/agromet.html>> . Acesso em: 06 out. 2014.

CUNNANE, C. Unbiased plotting positions — A review. **Journal of Hydrology**. Vol. 37, Issue 3, p. 205-222, mai., 1978. Disponível em: <<http://adsabs.harvard.edu/abs/1978JHyd...37..205C>>. Acesso em: 12 mai. 2014.

CWC. Central Water Commission. **Flood Forecasting**. New Delhi, India, 2014. Disponível em: <<http://www.cwc.nic.in/main/webpages/rm/activities.html>>. Acesso em: 07 set. 2014.

DIEDRICH, V. L.; ECKHARDT, R. R.; FERREIRA, E. R.; HAETINGER, C. Mapeamento e Previsão das Áreas Urbanas Inundáveis na Cidade de Lajeado – RS – Brasil. In: XXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFICA, Aracaju, 2010. **Anais eletrônicos...** Aracaju, 2010. Disponível em: <<http://www.smad.rs.gov.br/downloads/documentos/Eckhardt-Diedrich%20-%20Mapeam%20Prev%20Areas%20Inundaveis%20LAJEADO.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2014.

ECKARDT, R. R. **Geração de Modelo Cartográfico Aplicado ao Mapeamento das Áreas Sujeitas às Inundações Urbanas na Cidade de Lajeado / RS. 2008**. 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.

ECKHARDT, R. R.; QUARTIERI, M. T.; ALVES, A.; SALVADOR, P. F., MALHEIROS, M. G.; BIANCHINI, C. D. Impactos Econômicos das Inundações no Vale do Taquari. In: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2013, Bento Gonçalves. **Anais eletrônicos...** Bento Gonçalves: ABRH, 2013. Disponível em: <[http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/fc1fd7ecf4ba09f8e9b7c49997c609db\\_cb2bb4588ebc51708b404bb1c7666033.pdf](http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/fc1fd7ecf4ba09f8e9b7c49997c609db_cb2bb4588ebc51708b404bb1c7666033.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2014.

EM-DAT / CRED. International Disaster Database. Center for Research on the Epidemiology of Disasters. **Database Advanced Search**. Université catholique de Louvain, Brussels, Belgium, 2014. Disponível em: <[http://www.emdat.be/advanced\\_search/index.html](http://www.emdat.be/advanced_search/index.html)>. Acesso em: 05 set. 2014.

ESTATCAMP. Consultoria em estatística e qualidade. **Software Action**. São Carlos/SP, 2014a. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/content/download-action>> . Acesso em: 15 fev. 2015.

\_\_\_\_\_. **Manual software Action**. São Carlos/SP, 2014b. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/manual-action>> . Acesso em: 15 fev. 2015.

FAN, F. M. **Previsão por Conjunto de vazões Afluentes a Reservatórios em Grandes Bacias Hidrográficas Brasileiras**. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2015.

FAN, F. M.; PONTES, P. R. M. ; COLLISCHONN, W. ; BELTRAME, L. F. S. Sistema de Previsão de Vazões para as Bacias dos Rios Taquari-Antas e Pelotas. In: XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2012, João Pessoa/PB. **Anais...** João Pessoa: ABRH, 2012.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler. **Mapa de Classificação dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul quanto à Resistência a Impactos Ambientais**. Relatório final de consultoria elaborado por Nestor Kämpf. Porto Alegre: FEPAM, 2001.

\_\_\_\_\_. **Qualidade das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio das Antas e Rio Taquari**. Rio Grande do Sul, 2014. Disponível em: <[http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade\\_taquari\\_antas/taquariantas.as](http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_taquari_antas/taquariantas.as)>. Acesso em: 10 jun. 2014.

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), São Paulo, 2007. **Anais...** São Paulo: ABGE, 2007. CR-ROM.

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

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

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. Características das Bacias Hidrográficas. (cap. 4). In: \_\_\_\_\_. **Hidrologia**. 2 ed. rev. e atual. São Paulo: Bluncher, 1988.

GARCIA, L. A. V.; BRAGA Jr., B. P. F. Análise de frequência conjugada. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 2, p. 21-44, 1997.

GOERL, R. F. KOBAYAMA, M. Considerações sobre as inundações no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2005, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABRH, 2005.

GONÇALVES, A. S.; CARAM, R. O.; SCOFIELD, G. B.; MORAES, M. A. E.; DUARTE, A. G.; LINHARES, C. A.; TOMASELLA, J. Utilização do Modelo Hidrológico de Grandes Bacias para Previsão de Desastres Hidrológicos na Bacia do Rio Doce. In: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Bento Gonçalves, 2013. **Anais eletrônicos...** Bento Gonçalves, 2013. Disponível em: <<http://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=3&PUBLICACAO=SIMPOSIOS>>. Acesso em: 29 ago. 2014.

GRINGORTEN, I. I. A plotting rule for extreme probability paper. **Journal of Geophysical Research**. Vol. 68, Issue 3, p. 813–814, 1 feb., 1963. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/JZ068i003p00813/abstract>>. Acesso em: 12 mai. 2014.

GUHA-SPAIR, D.; HOYOIS, Ph.; BELOW, R. **Annual Disaster Statistical Review 2012: The numbers and trends**. Brussels: CRED, 2013. Disponível em: <<http://www.cred.be/publications>>. Acesso em: 05 set. 2014.

GUMBEL, E. J. The return period of flood flows. **The Annals of Mathematical Statistic**, vol. 12, nº 2, p. 163-190, 1941.

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.

HASENACK, H. WEBER, E. (org.). **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000**. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Recursos Naturais e Meio Ambiente: uma visão do Brasil**. 2 ed., Rio de Janeiro: IBGE, 1996. 208 p.

\_\_\_\_\_. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Mapa Temático – Relevo do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. Disponível em: <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas\\_tematicos/mapas\\_murais/](ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/mapas_murais/)>. Acesso em: 20 jan. 2016.

\_\_\_\_\_. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico de geomorfologia**. Manuais Técnicos em Geociências, número 5, 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182 p.

\_\_\_\_\_. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>>. Acesso em: 02 ago. 2014.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. **Sistema de alerta de cheias do estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://inea.infoper.net>>. Acesso: 07-09-2014.

JENKINSON, A. F. The Frequency Distribution of the Annual Maximum (or Minimum) of Meteorological Elements. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, vol. 81, p. 158-171, 1955.

LANGBEIN, W. B.; ISERI, K. T. General Introduction and Hydrologic Definitions. In: Manual of Hydrology: **Part 1. General Surface-Water Techniques. Geological Survey Water-Supply Paper**. Washington: UNITED STATES GOVERNMENT PRINTING OFFICE, 1960. Disponível em: <<http://water.usgs.gov/wsc/glossary.html>>. Acesso em: 06 set. 2014.

LEOPOLD, L. B. **A view of the river**. United States of America: Harvard University Press, 2005.

LIMA, W. P. **Análise Física da Bacia Hidrográfica** (cap. IV). In: \_\_\_\_\_ Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo. 2 ed. Piracicaba, São Paulo, 2008. 253 p.

LONGO, A. J.; SAMPAIO, S. C.; SUSZEK, M. Equações de chuvas intensas e precipitação provável para o município de Cascavel, PR. **Varia Scientia**, v. 06, n. 11, p. 119-127, 2006.

MAIDMENT, D. R. (org.). **Handbook of Hydrology**. McGraw-Hill, New York, USA, 1992. 1424 p.

MAIER, H. R.; DANDY, G. C. Neural Networks for the Prediction and Forecasting of Water Resources Variables: A Review of Modelling Issues and Applications. **Environmental Modelling & Software**, v. 15, Issue 1, p. 101-124, jan., 2000.

MALUTTA, S.; KOBAYAMA, M. Análise do Período de Retorno das Últimas Inundações na Bacia Hidrográfica do Rio Negrinho – SC, Brasil. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió, 2011. **Anais...** Maceió, ABRH, 2011.

MARCELINO, E. V. **Desastres Naturais e Geotecnologias: conceitos básicos**. Santa Maria: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE/CRS, 2008. 38 p.

MATHWAVE Technologies. **Sistema de ajuda do software Easyfit versão 5.6..** Copyright © 2004-2014.

\_\_\_\_\_. **Software Easyfit versão 5.6.** Copyright © 2004-2015. Disponível em: <<http://mathwave.com/downloads.html>>. Acesso em: 28 set. 2015.

MIRANDA, E. E. de; (coord.). **Brasil em Relevô**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 31 mar. 2015.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Biodiversidade dos Campos do Planalto das Araucárias**. Brasília: MMA, 2009. 240 p.

MONTANARI, A.; YOUNG, G.; SAVENIJE, H. H. G.; HUGHES, D.; WAGENER, T.; REN, L. L.; KOUTSOYIANNIS, D.; CUDENNEC, C.; TOTH, E.; GRIMALDI, S.; BLÖSCH, G.; SIVAPALAN, M.; BEVEN, K.; GUPTA, H.; HIPSEY, M.; SCHAEFLI, B.; ARHEIMER, B.; BOEGH, E.; SCHYMANSKI, S. J.; BALDASSARRE, G. D.; YU, B.; HUBERT, P.; HUANG, Y.; SCHUMANN, A.; POST, D. A.; SRINIVASAN, V.; HARMAN, C.; THOMPSON, S.; ROGGER, M.; VIGLIONE, A.; McMILLAN, H.; CHARACKLIS, G.; PANG, Z.; BELYAEV, V. "Panta Rhei—Everything Flows": Change in hydrology and society—The IAHS Scientific Decade 2013–2022, **Hydrological Sciences Journal**, 58:6, 1256-1275, jul. 2013.

MONTEIRO, C.A.F. **Clima**. In: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geografia do Brasil: Região Sul. Rio de Janeiro, 1968. 211p.

MOORE, R. J.; COLE, S. J.; BELL, V. A.; JONES, D. A. Issues in flood forecasting: ungauged basins, extreme floods and uncertainty. **Frontiers in Flood Research / Le point de la recherche sur les crues**. IAHS Publ. 305, p. 103-122, 2006.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552 p.

NIMER, E. **Clima**. In: FURLANETTO, D. A. et. al. Geografia do Brasil: Região Sul. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, V. 2, p. 151-187, 1990. 420p.

OLIVEIRA, G. G. **Modelos para Previsão, Especialização 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.; GUASSELLI, L. A.; SALDANHA, D. L. Influência de Variáveis Morfométricas e da Distribuição das Chuvas na Previsão de Enchentes em São Sebastião do Caí, RS. **Revista de Geografia**, Recife, v. especial VIII SINAGEO, n. 3, p. 140-155, set., 2010.

PBTA. Plano de Bacia Taquari-Antas. **Relatório técnico 02**. Tomo I. Fase A – Diagnóstico e Prognóstico. Etapa A.1 a A.2. Secretaria do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul, Serviços Técnicos de Engenharia S/A, nov. 2011. Disponível em: <<http://www.taquariantas.com.br/site/home/pagina/id/35>>. Acesso em: 07 set. 2014.

PEDROLLO, O. et al. **Projeto de Pesquisa: Desenvolvimento e Experimentação com Aplicações Hídricas e Ambientais de Redes Neurais Artificiais (em andamento)**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

PICCILLI, D. G. A. **Avaliação da Previsão Hidroclimática no Alto do Paraguai**. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2007.

PINTO, N. L. S. HOLTZ, A. C. T. MARTINS, J. A. GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1976.

RECKZIEGEL, B. W. Levantamento dos Desastres Desencadeados por Eventos Naturais Adversos no estado do Rio Grande do Sul no Período de 1980 a 2005. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, 2007.

REZAEIANZADEH, M.; TABARI, H.; ARABI YAZDI, A.; ISIK, S.; KALIN, L. Flood flow forecasting using ANN, ANFIS and regression models. **Neural Computing and Applications**, v. 25, Issue 1, p. 25-37, jul., 2013.



ROSSATO, M. S. **Os Climas do Rio Grande do Sul: Variabilidade, Tendências e Tipologia**. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2011.

SANSIGOLO, C. A. Distribuições de extremos de precipitação diária, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento em Poracicaba, SP (1917-2006). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 3, p. 341-346, 2008.

SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. B.; BUDA, H.; KISHI, R. T.; MORONE, E.; LAUTERT, L. F. C. Hidrologia e Hidrometria. (cap. 1), Medição de Variáveis Hidrológicas (cap. 2). In: \_\_\_\_\_. **Hidrometria Aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001. 372 p.

SANTOS, R. F. (org.) **Vulnerabilidade Ambiental**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2007. 192 p.

SELAMAN, O. S.; SAID, S.; PUTUHENA, F. J. Flood Frequency Analysis for Sarawak Using Weibull, Gringorten and L-Moments Formula. **Journal - The Institution of Engineers**, Malaysia, vol. 68, nº. 1, p. 43-52, mar 2007.

SENE, K. Introduction (cap. 1), Thresholds (cap. 3). In: \_\_\_\_\_. **Flood Warning, Forecasting and Emergency response**. United Kingdom: Springer Science, 2008. 303 p.

SILVA, J. B. L.; FERREIRA, P. A.; RAMOS, M. M.; EUCLYDES, H. P.; SOARES, V. P. Modelos de Previsão de Enchentes em Tempo Real para o Município de Nova Era – MG. **Revista Engenharia na Agricultura – REVENG**, Viçosa, v. 17, nº 3, p. 190-204, mai./jun., 2009.

SILVEIRA, A. L. L. Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol. 10, nº. 1, p. 5-23, jan/mar 2005.

SMAD. Sistema de Monitoramento e Alerta de Desastres do Rio Grande do Sul. **Sobre o SMAD e sala de situação**. Porto Alegre, 2014. Disponível em: <<http://www.smad.rs.gov.br>>. Acesso em: 14 ago. 2014.

SOBRINHO, T. A.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; AYRES, F. M. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n.1, p. 46-57, jan./fev. 2010.

TACHINI, M. Descrição do desastre: a inundação (cap. 9). In: FRANK, B.; SEVEGNANI, L. (org.); TOMASELLI, C. C. (col.) **Desastre de 2008 no Vale do Itajaí**. Água, gente e política. Blumenau: Agência de Água do Vale do Itajaí, 2009. 192p.

TOMINAGA, L. K. SANTORO, J. AMARAL, R. (orgs.) **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 196 p.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães – MG. **Revista Árvore**, vol. 30, nº. 5, p. 849-857, 2006.

TUCCI, C. E. M. Introdução (cap. 1). In: TUCCI, C. E. M.; CLARCK, R. T.; DIAS, P. L. S.; COLLISCHONN, W. **Previsão de Vazões com Base na Previsão Climática**. Projeto BRA/00/029 – Capacitação do Setor Elétrico Brasileiro em relação à mudança global do clima. Brasília: Dupligráfica, 2003. 184 p.

TUCCI, C. E. M. **Inundações Urbanas**. Porto Alegre: ABRH/Rhama, 2007. 350 p.

\_\_\_\_\_. Modelos e Simulação (cap. 1), Previsão em tempo real (cap. 8). In: \_\_\_\_\_. Modelos Hidrológicos. 2 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005. 678 p.

\_\_\_\_\_. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: Ed. Universidade/ UFRGS, 2002. 256 p.

TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L.; et al. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS/ABRH, 2009. 943 p.

UFRGS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Notícia: Bacia Hidrográfica Taquari-antas é Alvo de Estudo sobre Prevenção de Desastres**. Porto Alegre, 2014. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/ufrgs/noticias/bacia-hidrografica-taquari-antas-e-alvo-de-estudo-sobre-prevencao-de-desastres>>. Acesso em: 19 ago. 2014.

UFSC-CEPED. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2010: volume Rio Grande do Sul**. Florianópolis: CEPED UFSC, 2011. 93 p.

\_\_\_\_\_. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2010: volume Brasil**. Florianópolis: CEPED UFSC, 2012. 94 p.

\_\_\_\_\_. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012: volume Rio Grande do Sul**. Florianópolis: CEPED UFSC, 2013. 184 p.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGRAW-HILL, 1975. 237 p.

WEBER, E.; HASENACK, H. (org.) **Base cartográfica digital do Rio Grande do Sul - escala 1:250.000**. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2007.

WEIBULL, W. **A statistical theory of strength of materials**. Ingeniors Vetenskaps Akademien, Handlingar, 1939. Disponível em: <[http://www.barringer1.com/wa\\_files/Weibull-1939-Strength-of-Materials.pdf](http://www.barringer1.com/wa_files/Weibull-1939-Strength-of-Materials.pdf)>. Acesso em: 09 set. 2014.

WMO. World Meteorological Organization. Diseño y Evaluación de Redes Hidrológicas (Cap. 20), Medición de Las Características Fisiográficas (cap. 40). In: \_\_\_\_\_. **Guia de Practicas Hidrológicas: Adquisición y proceso de datos, análisis, predicción y otras aplicaciones**, 5. ed., nº 168, Geneva/Suíça, 1994. 781 p.

Disponível em: <[http://hydrologie.org/BIB/OMM/WMOSPA\\_v5.pdf](http://hydrologie.org/BIB/OMM/WMOSPA_v5.pdf)>. Acesso em: 05 set. 2014.

\_\_\_\_\_. **Manual on Flood Forecasting and Warning.** nº 1072, Geneva/Suíça, 2011. 142 p. Disponível em: <[www.wmo.int/pages/prog/.../flood\\_forecasting.../WMO%201072\\_en.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/.../flood_forecasting.../WMO%201072_en.pdf)>. Acesso em: 27 ago. 2014.

Apêndice A – Quadro das estações fluviométricas cadastradas no sistema Hidroweb da ANA com informações da disponibilidade de dados e utilização no estudo

(continua)

Código	Nome Estação	Rio	Município	Área de Drenagem (Km <sup>2</sup> )	Responsável	Operador	Disponibilidade de dados / período			Utilizada no estudo*
							Cota	Vazão	Outros	
86743000	ARROIO DO MEIO	RIO TAQUARI	ARROIO DO MEIO	19700	DEPRC	DEPRC	-	-	-	
86260000	ARROIO FAXINAL (SAMAE) CAXIAS	ARROIO FAXINAL	CAXIAS DO SUL	49,1	DEPRC	DEPRC	-	-	-	
86474000	ARROIO RETIRO	ARROIO RETIRO	VERANÓPOLIS	145	DEPRC	DEPRC	-	-	-	
86920000	ARROIO SANTA CRUZ	ARROIO SANTA CRUZ	TAQUARI	288	SEMA-RS	MAGNA	-	-	-	
86990000	ASILO PELA	RIO TAQUARI	TRIUNFO	25900	DEPRC	DEPRC	01/04/1938 - 01/12/1970	-	-	
86410050	BALSA DO TURVO	RIO TURVO	ANTÔNIO PRADO	3000	DA ILHA	DA ILHA	-	-	-	
86595000	BARRA DO ZEFERINO	RIO GUAPORÉ	ENCANTADO	2430	DEPRC	DEPRC	-	-	Resumo de descarga	
86882000	BOM RETIRO DO SUL - JUSANTE	RIO TAQUARI	BOM RETIRO DO SUL	23900	DNIT	DNIT	01/01/1973 - 01/01/2011	-	-	
86881000	BOM RETIRO DO SUL - MONTANTE	RIO TAQUARI	BOM RETIRO DO SUL	23800	DNIT	DNIT	01/06/1939 - 01/01/2011	-	-	
86490000	CAÇADOR - CF	RIO CARREIRO	COTIPORÃ	1580	CAÇADOR	CAÇADOR	-	-	-	
/86050000	CAMISAS	RIO CAMISAS	SÃO FRANCISCO DE PAULA	173	CEEE	CEEE	01/02/1946 - 01/03/1971	-	-	
86850000	CAMPESTRE	ARROIO POCO DAS ANTAS	SALVADOR DO SUL	47,5	SOPRS	SOPRS	01/01/1941 - 01/05/1943	-	-	

Apêndice A – Quadro das estações fluviométricas cadastradas no sistema Hidroweb da ANA com informações da disponibilidade de dados e utilização no estudo

(continuação)

Código	Nome Estação	Rio	Município	Área de Drenagem (Km²)	Responsável	Operador	Disponibilidade de dados / período			Utilizada no estudo*
							Cota	Vazão	Outros	
86890001	CAPITÃO MIGUEL - JUSANTE	RIO TAQUARI	BOM RETIRO DO SUL	24600	DEPRC	DEPRC	-	-	-	
86890000	CAPITÃO MIGUEL - MONTANTE	RIO TAQUARI	BOM RETIRO DO SUL	24600	DEPRC	DEPRC	01/01/1944 - 01/12/1970	-	-	
86555000	CGH GUAPORÉ JUSANTE	RIO GUAPORÉ	ANTA GORDA	2100	CPFL-SUL	CPFL-SUL	-	-	-	
86545000	CGH GUAPORÉ MONTANTE 1	RIO GUAPORÉ	GUAPORÉ	2060	CPFL-SUL	CPFL-SUL	-	-	-	
86544000	CGH GUAPORÉ MONTANTE 2	RIO GUAPORÉ	ARVOREZINHA	1660	CPFL-SUL	CPFL-SUL	-	-	-	
86372000	CGH SALTINHO JUSANTE	RIO TAQUARI	VACARIA	2490	CPFL-SUL	CPFL-SUL	-	-	-	
86371000	CGH SALTINHO MONTANTE 1	RIO TAQUARI	VACARIA	552	CPFL-SUL	CPFL-SUL	-	-	-	
86370000	CGH SALTINHO MONTANTE 2	RIO TAQUARI	VACARIA	513	CPFL-SUL	CPFL-SUL	-	-	-	
86720000	ENCANTADO	RIO TAQUARI	ENCANTADO	19100	ANA	CPRM	01/10/1941 - 31/10/2014	15/10/1941 - 31/10/2014	Qualidade da água, Resumo de descarga, Perfil Transversal	sim
86720001	ENCANTADO	RIO TAQUARI	ENCANTADO	19100	DNIT	DNIT	01/01/2003 - 01/02/2008	-	-	
86880000	ESTRELA	RIO TAQUARI	ESTRELA	23500	DNIT	DNIT	01/09/1941 - 01/03/2008	-	-	sim
86880060	ESTRELA - EH1	RIO TAQUARI	ESTRELA	22600	DEPRC	DEPRC	-	-	-	
86880065	ESTRELA - EH2	RIO TAQUARI	ESTRELA	22600	DEPRC	DEPRC	-	-	-	
86870001	ESTRELA II	ARROIO ESTRELA	TEUTÔNIA	143	SOPRS	SOPRS	01/09/1941 - 01/04/1946	-	-	

Apêndice A – Quadro das estações fluviométricas cadastradas no sistema Hidroweb da ANA com informações da disponibilidade de dados e utilização no estudo

(continuação)

Código	Nome Estação	Rio	Município	Área de Drenagem (Km²)	Responsável	Operador	Disponibilidade de dados / período			Utilizada no estudo*
							Cota	Vazão	Outros	
86995000	GENERAL CÂMARA J6	RIO TAQUARI	GENERAL CÂMARA	26400	DMAE	DMAE	-	-	-	
86541000	GUAPORÉ	RIO GUAPORÉ	MONTAURI	1160	SEMA-RS	MAGNA	-	-	-	
86888000	JUSANTE JASPER	RIO TAQUARI	BOM RETIRO DO SUL	23900	DEPRC	DEPRC	-	-	-	
86200000	LAGEADO GRANDE	LAJEADO GRANDE	SÃO FRANCISCO DE PAULA	436	CEEE	CEEE	01/01/1941 - 01/08/1948	-	-	
86870000	LAJEADO	RIO TAQUARI	LAJEADO	19700	ANA	ANA	01/01/1983 - 01/01/1986	01/10/1977 - 22/11/1977	Qualidade da água, Resumo de descarga	
86560000	LINHA COLOMBO	RIO GUAPORÉ	GUAPORÉ	2030	ANA	CPRM	01/10/1939 - 31/10/2014	21/10/1939 - 31/10/2014	Qualidade da água, Resumo de descarga, Perfil transversal, Sedimentos	
86505000	LINHA EMÍLIA	RIO CARREIRO	GUAPORÉ	2260	ANA	ANA	01/03/1953 - 01/04/1959	-	-	sim
86472000	LINHA JOSÉ JÚLIO	RIO DAS ANTAS	SANTA TEREZA	-	CPRM	CPRM	-	-	-	
86330000	LINHA REPÚBLICA	RIO DAS ANTAS	NOVA ROMA DO SUL	8230	ANA	ANA	01/09/1983 - 01/02/1984	-	Qualidade da água, Resumo de descarga	
86800000	MARQUES DE SOUZA	RIO FORQUETA	ARROIO DO MEIO	2200	DNIT	DNIT	01/04/1943 - 01/03/2008	-	-	sim
86460000	MONTE CLARO	RIO DAS ANTAS	VERANÓPOLIS	12100	CEEE	CEEE	01/10/1925 - 01/10/2001	01/01/1931 - 31/10/2001	-	

Apêndice A – Quadro das estações fluviométricas cadastradas no sistema Hidroweb da ANA com informações da disponibilidade de dados e utilização no estudo

(continuação)

Código	Nome Estação	Rio	Município	Área de Drenagem (Km²)	Responsável	Operador	Disponibilidade de dados / período			Utilizada no estudo*
							Cota	Vazão	Outros	
86510000	MUÇUM	RIO TAQUARI	MUÇUM	16000	ANA	CPRM	01/01/1940 - 31/10/2014	01/01/1940 - 31/10/2014	Qualidade da água, Resumo de descarga, Perfil transversal, Sedimentos	sim
86300000	NOVA ROMA	RIO DAS ANTAS	ANTÔNIO PRADO	7690	ANA	ANA	01/12/1940 - 01/12/1952	28/12/1940 - 31/12/1951	-	
86410000	PASSO BARRA DO GUAIAVEIRA	RIO TURVO	PROTÁSIO ALVES	2820	ANA	CPRM	01/11/1956 - 31/10/2014	20/11/1956 - 31/10/2014	Qualidade da água, Resumo de descarga, Perfil transversal, Sedimentos	
86500000	PASSO CARREIRO	RIO CARREIRO	GUAPORÉ	180	ANA	CPRM	01/10/1939 - 31/10/2014	19/10/1939 - 31/10/2014	Qualidade da água, Resumo de descarga, Perfil transversal, Sedimentos	
86500001	PASSO CARREIRO	RIO CARREIRO	GUAPORÉ	1820	DNIT	DNIT	01/01/2003 - 01/03/2008	-	-	
86080000	PASSO DA GARRAFA	ARROIO SANTANA	CAMBARÁ DO SUL	354	CEEE	CEEE	01/06/1947 - 01/03/1970	-	-	
86745000	PASSO DO COIMBRA	RIO FORQUETA	POUSO NOVO	791	ANA	CPRM	01/07/1957 - 31/10/2014	10/07/1957 - 31/10/2014	Qualidade da água, Resumo de descarga, Perfil transversal	

Apêndice A – Quadro das estações fluviométricas cadastradas no sistema Hidroweb da ANA com informações da disponibilidade de dados e utilização no estudo

(continuação)

Código	Nome Estação	Rio	Município	Área de Drenagem (Km²)	Responsável	Operador	Disponibilidade de dados / período			Utilizada no estudo*
							Cota	Vazão	Outros	
86100000	PASSO DO GABRIEL	RIO DAS ANTAS	JAQUIRANA	1820	ANA	CPRM	01/09/1940 - 31/07/2014	01/09/1940 - 31/10/2014	Qualidade da água, Perfil transversal, Sedimentos	
86440000	PASSO DO PRATA	RIO PRATA	VILA FLORES	3600	ANA	ANA	01/11/1938 - 01/07/2007	01/01/1940 - 12/06/2007	Qualidade da água, Resumo de descarga, Perfil transversal	
86440001	PASSO DO PRATA	RIO PRATA	VILA FLORES	3600	DNIT	DNIT	01/01/2003 - 01/09/2007	-	-	
86140000	PASSO DO S	RIO TAINHAS	SÃO FRANCISCO DE PAULA	704	CEEE	CEEE	01/07/1947 - 01/12/1959	-	-	
86523000	PASSO FUNDO T	RIO GUAPORÉ	MARAU	159	ANA	ANA	01/05/1941 - 01/08/1950	-	-	
86480000	PASSO MIGLIAVACA	RIO CARREIRO	CASCA	1330	ANA	CPRM	01/11/1956 - 31/10/2014	14/11/1956 - 31/10/2014	Qualidade da água, Resumo de descarga, Perfil transversal	
86250000	PASSO SÃO BERNARDO	RIO DAS ANTAS	VACARIA	6470	ANA	ANA	01/08/1940 - 01/12/1971	01/01/1948 - 31/12/1971	Resumo de descarga	
86160000	PASSO TAINHAS	RIO TAINHAS	JAQUIRANA	1120	ANA	CPRM	01/08/1940 - 31/10/2014	19/08/1940 - 31/10/2014	Resumo de descarga, Perfil transversal	



Apêndice A – Quadro das estações fluviométricas cadastradas no sistema Hidroweb da ANA com informações da disponibilidade de dados e utilização no estudo

(continuação)

Código	Nome Estação	Rio	Município	Área de Drenagem (Km²)	Responsável	Operador	Disponibilidade de dados / período			Utilizada no estudo*
							Cota	Vazão	Outros	
86401000	PASSO VELHO	RIO TURVO	ANDRÉ DA ROCHA	547	ANA	CPRM	01/10/2004 - 01/12/2006	-	Qualidade da água, Resumo de descarga, Perfil transversal	
86497500	PCH AUTÓDROMO ALÇA	RIO CARREIRO	GUAPORÉ	1790	AUTÓDROMO	AUTÓDROMO	-	-	-	
86498000	PCH AUTÓDROMO JUSANTE	RIO CARREIRO	GUAPORÉ	1820	AUTÓDROMO	AUTÓDROMO	-	-	-	
86494000	PCH BOA FÉ ALÇA	RIO CARREIRO	VISTA ALEGRE	1610	BOA FÉ	BOA FÉ	-	-	-	
86493000	PCH BOA FÉ BARRAMENTO						-	-	-	
86495000	PCH BOA FÉ JUSANTE	RIO CARREIRO	GUAPORÉ	1680	BOA FÉ	HIDROTÉRMICA	-	-	-	
86490500	PCH BOA FÉ MONTANTE	RIO CARREIRO	SERAFINA CORRÊA	1580	BOA FÉ	BOA FÉ	-	-	-	
86489000	PCH CAÇADOR BARRAMENTO	RIO CARREIRO	SERAFINA CORRÊA	1571	CAÇADOR	CAÇADOR	-	-	-	
86491000	PCH CAÇADOR JUSANTE	-	SERAFINA CORRÊA	2118	CAÇADOR	CAÇADOR	-	-	Resumo de descarga, Perfil transversal	
86488000	PCH CAÇADOR MONTANTE	RIO CARREIRO	SERAFINA CORRÊA	2090	CAÇADOR	CAÇADOR	12/01/2010 - 01/01/2013	12/01/2010 - 31/12/2012	Resumo de descarga, Perfil transversal, Sedimentos	
86479000	PCH CAÇADOR PONTE SÃO DOMINGOS	RIO SÃO DOMINGOS	SERAFINA CORRÊA	674	CAÇADOR	CAÇADOR	13/01/2010 - 01/01/2013	-	Resumo de descarga	

Apêndice A – Quadro das estações fluviométricas cadastradas no sistema Hidroweb da ANA com informações da disponibilidade de dados e utilização no estudo

(continuação)

Código	Nome Estação	Rio	Município	Área de Drenagem (Km²)	Responsável	Operador	Disponibilidade de dados / período			Utilizada no estudo*
							Cota	Vazão	Outros	
86520000	PCH CAPIGUI BARRAMENTO	RIO CAPIGUI	MARAU	123	CEEE	CEEE	-	-	-	
86520100	PCH CAPIGUI JUSANTE	RIO CAPIGUI	MARAU	68,4	CEEE	CEEE	-	-	-	
86310000	PCH CASTRO ALVES	RIO DAS ANTAS	ANTÔNIO PRADO	7760	CEEE	CEEE	01/06/1972 - 01/12/1972	-	-	
86195000	PCH CAZUZA BARRAMENTO			429			-	-	-	
86200500	PCH CAZUZA FERREIRA JUSANTE			429			-	-	-	
86506000	PCH COTIPORÃ BARRAMENTO	RIO CARREIRO	COTIPORÃ	2320	COTIPORÃ	COTIPORÃ	-	-	-	
86507000	PCH COTIPORÃ JUSANTE	RIO CARREIRO	COTIPORÃ	2340	COTIPORÃ	COTIPORÃ	-	-	Resumo de descarga, Perfil transversal, Sedimentos	
86201000	PCH CRIÚVA ALÇA	LAJEADO GRANDE	CAXIAS DO SUL	676	CRIÚVA	CRIÚVA	-	-	-	
86210000	PCH CRIÚVA JUSANTE	LAJEADO GRANDE	CAXIAS DO SUL	754	CRIÚVA	CRIÚVA	-	-	-	
86190000	PCH CRIÚVA MONTANTE	LAJEADO GRANDE	CAXIAS DO SUL	426	CRIÚVA	CRIÚVA	-	-	-	
86444000	PCH DA ILHA ALÇA	RIO PRATA	VILA FLORES	3630	DA ILHA	DA ILHA	-	-	-	
86430900	PCH DA ILHA BARRAMENTO	RIO PRATA	VERANÓPOLIS	3630	DA ILHA	DA ILHA	-	-	-	
86550000	PCH GUAPORÉ	RIO GUAPORÉ	GUAPORÉ	2010	HIDROTÉRMICA	HIDROTÉRMICA	-	-	-	
86445500	PCH JARARACA ALÇA	RIO PRATA	VERANÓPOLIS	3660	VENETO	VENETO	-	-	-	

Apêndice A – Quadro das estações fluviométricas cadastradas no sistema Hidroweb da ANA com informações da disponibilidade de dados e utilização no estudo

(continuação)

Código	Nome Estação	Rio	Município	Área de Drenagem (Km²)	Responsável	Operador	Disponibilidade de dados / período			Utilizada no estudo*
							Cota	Vazão	Outros	
86125500	PCH JARARACA BARRAMENTO	RIO PRATA	VERANÓPOLIS	3660	VENETO	VENETO	-	-	-	
86446000	PCH JARARACA JUSANTE	RIO PRATA	VERANÓPOLIS	3730	VENETO	VENETO	-	-	-	
86505400	PCH LINHA EMILIA BARRAMENTO	RIO CARREIRO	DOIS LAJEADOS	-	LINHA EMILIA	LINHA EMILIA	-	-	-	
86505500	PCH LINHA EMILIA JUSANTE	RIO CARREIRO	DOIS LAJEADOS	2290	LINHA EMILIA	LINHA EMILIA	-	-	Resumo de descarga, Perfil transversal	
86211000	PCH PALANQUINHO ALÇA	LAJEADO GRANDE	CAXIAS DO SUL	799	SERRANA	SERRANA	-	-	-	
86210900	PCH PALANQUINHO BARRAMENTO	LAJEADO GRANDE	CAXIAS DO SUL	829,3	SERRANA	SERRANA	-	-	-	
86213000	PCH PALANQUINHO JUSANTE	LAJEADO GRANDE	CAXIAS DO SUL	828	SERRANA	SERRANA	-	-	-	
86109000	PCH PASSO DO MEIO BARRAMENTO						-	-	-	
86110000	PCH PASSO DO MEIO JUSANTE	RIO DAS ANTAS	SÃO FRANCISCO DE PAULA	3540	CAMPO DE CIMA	CAMPO DE CIMA	10/04/2012 - 01/01/2013	08/05/2012 - 31/12/2012	Resumo de descarga, Perfil transversal	
86101000	PCH PASSO DO MEIO MONTANTE	RIO DAS ANTAS	BOM JESUS	2070	CAMPO DE CIMA	CAMPO DE CIMA	01/01/2012 - 01/01/2013	27/02/2012 - 31/12/2012	Resumo de descarga, Perfil transversal	

Apêndice A – Quadro das estações fluviométricas cadastradas no sistema Hidroweb da ANA com informações da disponibilidade de dados e utilização no estudo

(continuação)

Código	Nome Estação	Rio	Município	Área de Drenagem (Km²)	Responsável	Operador	Disponibilidade de dados / período			Utilizada no estudo*
							Cota	Vazão	Outros	
86102000	PCH PASSO DO MEIO MONTANTE TAINHAS	RIO TAINHAS	SÃO FRANCISCO DE PAULA	1400	CAMPO DE CIMA	CAMPO DE CIMA	15/06/2012 - 01/01/2013	06/06/2012 - 31/12/2012	Resumo de descarga, Perfil transversal	
86743800	PCH RASTRO DE AUTO BARRAMENTO			564			-	-	-	
86743700	PCH RASTRO DE AUTO MONTANTE			564			-	-	-	
86281000	PCH RIO SÃO MARCOS	ARROIO SÃO MARCOS	SÃO MARCOS	259	RIO SÃO MARCOS	RIO SÃO MARCOS	-	-	-	
86743900	PCH SALTO FORQUETA BARRAMENTO	RIO FORQUETA	PUTINGA	600	CERTEL TEUTONIA	CERTEL TEUTONIA	-	-	-	
86744000	PCH SALTO FORQUETA JUSANTE	RIO FORQUETA	PUTINGA	647	CERTEL TEUTONIA	CERTEL TEUTONIA	-	-	-	
86405000	PCH SANTA CAROLINA BARRAMENTO			1140			-	-	-	
86406000	PCH SANTA CAROLINA JUSANTE			1142			-	-	-	
86465000	PCH SÃO LUIZ	RIO DAS ANTAS	BENTO GONÇALVES	12500	CEEE	CEEE	-	-	-	
86495500	PCH SÃO PAULO BARRAMENTO	RIO CARREIRO	VISTA ALEGRE DO PRATA	1721	SÃO PAULO	SÃO PAULO	-	-	-	
86496000	PCH SÃO PAULO JUSANTE 1 ALÇA	RIO CARREIRO	VISTA ALEGRE DO PRATA	1720	SÃO PAULO	SÃO PAULO	-	-	-	

Apêndice A – Quadro das estações fluviométricas cadastradas no sistema Hidroweb da ANA com informações da disponibilidade de dados e utilização no estudo

(continuação)

Código	Nome Estação	Rio	Município	Área de Drenagem (Km²)	Responsável	Operador	Disponibilidade de dados / período			Utilizada no estudo*
							Cota	Vazão	Outros	
86497000	PCH SÃO PAULO JUSANTE 2	RIO CARREIRO	VISTA ALEGRE DO PRATA	1720	SÃO PAULO	SÃO PAULO	-	-	-	
86162000	PCH SERRA DOS CAVALINHOS II BARRAMENTO			352			-	-	-	
86163000	PCH SERRA DOS CAVALINHOS II JUSANTE						-	-	-	
86748000	PCH USINA DO FÃO JUSANTE	RIO FÃO	FONTOURA XAVIER	124	CERFOX	CERFOX	-	-	-	
86880050	PICADA DO CARNEIRO	RIO TAQUARI	LAJEADO	22600	DEPRC	DEPRC	-	-	-	
86296000	PONTE ANTÔNIO PRADO	RIO DAS ANTAS	SÃO MARCOS	6600	DNIT	DNIT	01/06/2003 - 01/11/2007	-	-	
86910000	PONTE DE ZINCO	ARROIO TAQUARI MIRIM	VENANCIO AIRES	632	SEMA-RS	MAGNA	-	-	-	
86420000	PONTE DO PRATA	RIO PRATA	NOVA PRATA	317	ANA	CPRM	01/06/1959 - 31/10/2014	29/06/1959 - 31/10/2014	Qualidade da água, Resumo de descarga, Perfil transversal	
86470000	PONTE DO RIO DAS ANTAS	RIO DAS ANTAS	VERANÓPOLIS	12500	ANA	ANA	01/04/1970 - 01/02/2008	06/04/1970 - 08/01/2008	Qualidade da água, Resumo de descarga, Perfil transversal, Sedimentos	

Apêndice A – Quadro das estações fluviométricas cadastradas no sistema Hidroweb da ANA com informações da disponibilidade de dados e utilização no estudo

(continuação)

Código	Nome Estação	Rio	Município	Área de Drenagem (Km²)	Responsável	Operador	Disponibilidade de dados / período			Utilizada no estudo*
							Cota	Vazão	Outros	
86800001	PONTE FORQUETA	RIO TAQUARI	ARROIO DO MEIO	19700	DEPRC	DEPRC	01/08/1946 - 01/12/1970	-	-	
86700000	PONTE JACARÉ	ARROIO JACARÉ	ENCANTADO	436	ANA	CPRM	01/04/1943 - 31/10/2014	19/04/1943 - 31/10/2014	Qualidade da água, Resumo de descarga, Perfil transversal	
86470001	PONTE RIO DAS ANTAS	RIO DAS ANTAS	VERANÓPOLIS	12500	DNIT	DNIT	01/01/2013 - 01/09/2007	-	-	
86340000	PONTE SANTA RITA	RIO SANTA RITA	LAGOA VERMELHA	317	ANA	ANA	01/10/1957 - 01/04/1984	01/06/1958 - 30/04/1984	Resumo de descarga	
86900000	PORTO GOMES	RIO TAQUARI	VENANCIO AIRES	24600	DEPRC	DEPRC	01/05/1948 - 01/12/1970	-	-	
86895000	PORTO MARIANTE	RIO TAQUARI	VENANCIO AIRES	24600	ANA	CPRM	01/09/1959 - 30/09/2014	-	Qualidade da água, Resumo de descarga, Perfil transversal	
86895001	PORTO MARIANTE	RIO TAQUARI	VENANCIO AIRES	24600	DNIT	DNIT	01/01/2003 - 01/04/2008	-	-	
86445000	POSTO DA ILHA - CF	RIO PRATA	VERANÓPOLIS	3630	HIDROTÉRMICA	HIDROTÉRMICA	-	-	-	
86431000	PRATINHA	RIO PRATA	NOVA PRATA	521	DA ILHA	DA ILHA	-	-	-	
86886000	RIACHO CASTELHANO	ARROIO CASTELHANO	VENANCIO AIRES	563	SEMA-RS	MAGNA	-	-	-	
86760000	RIACHO FÃO	RIO FÃO	PROGRESSO	956	SEMA-RS	MAGNA	-	-	-	
86360000	RINCÃO DO CASTELHANO	RIO SANTA RITA	VACARIA	528	ANA	ANA	01/05/1945 - 01/12/1952	25/05/1945 - 31/12/1952	-	

Apêndice A – Quadro das estações fluviométricas cadastradas no sistema Hidroweb da ANA com informações da disponibilidade de dados e utilização no estudo

(continuação)

Código	Nome Estação	Rio	Município	Área de Drenagem (Km²)	Responsável	Operador	Disponibilidade de dados / período			Utilizada no estudo*
							Cota	Vazão	Outros	
86030000	RIO DAS ANTAS (S, José dos Ausentes)	RIO DAS ANTAS	SÃO JOSÉ DOS AUSENTES		FEPAM	FEPAM	-	-	Qualidade da água	
86390000	RIO TURVO	RIO TURVO	LAGOA VERMELHA	172	SEMA-RS	MAGNA	-	-	-	
86730000	ROCA SALES	RIO TAQUARI	ENCANTADO	19100	DEPRC	DEPRC	-	-	-	
86502000	SANTA BÁRBARA	RIO CARREIRO	GUAPORÉ	2260	DEPRC	DEPRC	-	-	-	
86580000	SANTA LÚCIA	RIO GUAPORÉ	ENCANTADO	2470	ANA	CPRM	01/01/1940 - 31/10/2014	01/01/1940 - 31/10/2014	Qualidade da água, Resumo de descarga, Perfil transversal	sim
86580001	SANTA LÚCIA	RIO GUAPORÉ	ENCANTADO	2470	DNIT	DNIT	01/01/2003 - 01/02/2006	-	-	
86170000	SÃO TOMÉ	ARROIO SÃO TOMÉ	SÃO FRANCISCO DE PAULA	146	SEMA-RS	MAGNA	-	-	-	
86120000	TAINHAS	RIO TAINHAS	SÃO FRANCISCO DE PAULA	207	CEEE	CEEE	01/02/1946 - 01/02/1971	-	-	
86950000	TAQUARI	RIO TAQUARI	TAQUARI	25900	ANA	CPRM	01/03/1931 - 31/10/2014	-	Qualidade da água, Resumo de descarga	
86950001	TAQUARI	RIO TAQUARI	TAQUARI	25900	DNIT	DNIT	01/01/2003 - 01/11/2007	-	-	
86470900	UHE 14 DE JULHO ALÇA	RIO DAS ANTAS	COTIPORÃ	12929,7	CERAN	CERAN	15/05/2009 - 31/12/2012	15/05/2009 - 31/12/2012	-	

Apêndice A – Quadro das estações fluviométricas cadastradas no sistema Hidroweb da ANA com informações da disponibilidade de dados e utilização no estudo

(continuação)

Código	Nome Estação	Rio	Município	Área de Drenagem (Km²)	Responsável	Operador	Disponibilidade de dados / período			Utilizada no estudo*
							Cota	Vazão	Outros	
86470800	UHE 14 DE JULHO BARRAMENTO	RIO DAS ANTAS	COTIPORÃ	12757,8	CERAN	CERAN	28/03/2009 - 31/12/2012	-	-	
86471000	UHE 14 DE JULHO JUSANTE	RIO DAS ANTAS	BENTO GONÇALVES	12900	CERAN	CERAN	31/03/2009 - 29/10/2012	31/01/2011 - 29/10/2012	-	
86451000	UHE 14 DE JULHO MONTANTE	RIO DAS ANTAS	VERANÓPOLIS	12400	CERAN	CERAN	11/12/2009 - 31/12/2012	05/03/2009 - 31/12/2012	-	
86306000	UHE CASTRO ALVES ALÇA	RIO DAS ANTAS	NOVA ROMA DO SUL	7748,3	CERAN	CERAN	18/03/2009 - 12/02/2012	18/03/2009 - 12/02/2012	-	
86305000	UHE CASTRO ALVES BARRAMENTO	RIO DAS ANTAS	NOVA ROMA DO SUL	7742,6	CERAN	CERAN	19/03/2009 - 31/12/2012	-	-	
86298000	UHE CASTRO ALVES RS-122	RIO DAS ANTAS	ANTÔNIO PRADO	7370	CERAN	CERAN	01/01/2009 - 31/12/2012	01/01/2009 - 31/12/2012	-	
86321000	UHE CASTRO ALVES TEGA	RIO DAS ANTAS	NOVA PADUA	285,6	CERAN	CERAN	04/04/2009 - 31/10/2011	04/04/2009 - 31/10/2011	-	
86447000	UHE MONTE CLARO Balsa DO PRATA	RIO PRATA	NOVA ROMA DO SUL	3750	CERAN	CERAN	19/03/2009 - 31/12/2012	01/09/2009 - 31/12/2012	-	sim
86448000	UHE MONTE CLARO BARRAMENTO	RIO DAS ANTAS	VERANÓPOLIS	12113,7	CERAN	CERAN	20/03/2009 - 31/12/2012	-	-	
86450000	UHE MONTE CLARO JUSANTE 1 (ALÇA)	RIO DAS ANTAS	BENTO GONÇALVES	12400	CERAN	CERAN	02/04/2009 - 22/09/2011	02/04/2009 - 22/09/2011	-	
86450500	UHE MONTE CLARO JUSANTE 2	RIO DAS ANTAS	VERANÓPOLIS	-	CERAN	CERAN	-	-	-	



Apêndice A – Quadro das estações fluviométricas cadastradas no sistema Hidroweb da ANA com informações da disponibilidade de dados e utilização no estudo

(continuação)

Código	Nome Estação	Rio	Município	Área de Drenagem (Km²)	Responsável	Operador	Disponibilidade de dados / período			Utilizada no estudo*
							Cota	Vazão	Outros	
86885070	URSULA - JUSANTE	RIO TAQUARI	BOM RETIRO DO SUL	23900	DEPRC	DEPRC	-	-	-	
86885050	URSULA - MONTANTE	RIO TAQUARI	BOM RETIRO DO SUL	23900	DEPRC	DEPRC	-	-	-	
86475000	USINA ALFREDO CHAVES	ARROIO RETIRO	FLORES DA CUNHA	45	ANA	ANA	01/04/1941 - 01/12/1945	-	-	
86295000	USINA ANTÔNIO PRADO	RIO INFERNO E QUARESMA	ANTÔNIO PRADO	16	ANA	ANA	01/05/1941 - 01/12/1956	-	-	
86060000	USINA ARCADO	ARROIO ARCADO	CAMBARÁ DO SUL	20	ANA	ANA	01/06/1943 - 01/11/1948	-	-	
86535000	USINA CAMARGO	ARROIO CAMARGO	MARAU	120	ANA	ANA	01/01/1943 - 01/01/1945	-	-	
86478000	USINA CASCA	ARROIO CASCA	CASCA	21	ANA	ANA	01/07/1941 - 01/11/1942	-	-	
86180000	USINA CAZUZA FERREIRA	ARROIO SÃO TOMÉ	SÃO FRANCISCO DE PAULA	142	ANA	ANA	01/06/1941 - 01/10/1946	-	-	
86220000	USINA CRIÚVA	ARROIO MULADA	CAXIAS DO SUL	69	ANA	ANA	01/07/1943 - 01/12/1955	-	-	
86710000	USINA ENCANTADO	ARROIO LAMBARI	ENCANTADO	12	ANA	ANA	01/04/1943 - 01/12/1947	-	-	
86538000	USINA GONÇALVES DIAS	ARROIO JORDÃO	MARAU	129	ANA	ANA	01/02/1945 - 01/12/1961	-	-	
86530000	USINA MARAU	ARROIO MARAU	MARAU	226	ANA	ANA	01/04/1941 - 01/12/1962	-	-	
86540000	USINA MARIA	ARROIO JORDÃO	MARAU	78	ANA	ANA	01/10/1941 - 01/12/1952	-	-	

Apêndice A – Quadro das estações fluviométricas cadastradas no sistema Hidroweb da ANA com informações da disponibilidade de dados e utilização no estudo

(conclusão)

Código	Nome Estação	Rio	Município	Área de Drenagem (Km²)	Responsável	Operador	Disponibilidade de dados / período			Utilizada no estudo*
							Cota	Vazão	Outros	
86320000	USINA NOVA PÁDUA	ARROIO NOVA PÁDUA	FLORES DA CUNHA	15	ANA	ANA	01/05/1941 - 01/12/1946	-	-	
86740000	USINA POV,ARROIO DA SECA	ARROIO DA SECA	ARROIO DO MEIO	181	DEPRC	DEPRC	01/10/1941 - 01/12/1954	-	-	
86430000	USINA PRATA	RIO PRATA	NOVA PRATA	459	ANA	ANA	01/01/1938 - 01/12/1953	-	-	
86650000	USINA PUTINGA I	ARROIO PUTINGA	PUTINGA	36	ANA	ANA	01/04/1941 - 01/12/1948	-	Perfil transversal	
86070000	USINA SANTANA	ARROIO SANTANA	SÃO FRANCISCO DE PAULA	224	ANA	ANA	01/06/1943 - 01/12/1948	-	-	
86476000	USINA SÃO DOMINGOS	RIO SÃO DOMINGOS	CIRIACO	258	ANA	ANA	01/08/1944 - 01/06/1955	-	-	
86280000	USINA SÃO MARCOS	ARROIO SÃO MARCOS	SÃO MARCOS	141	ANA	ANA	01/01/1943 - 01/08/1962	-	-	
86504000	USINA SILVA PAIS	ARROIO ATANÁSIO	NOVA BASSANO	46	ANA	ANA	01/08/1941 - 01/02/1954	-	-	
86750000	USINA SOLEDADE	RIO FÃO	SOLEDADE	119	ANA	ANA	01/01/1942 - 01/12/1955	-	-	
86380000	VACARIA	RIO DA TELHA	VACARIA	321	CEEE	CEEE	01/11/1940 - 01/07/1941	-	-	

Apêndice B – Quadro das estações pluviométricas cadastradas no sistema Hidroweb da ANA com informações da disponibilidade de dados e utilização no estudo

(continua)

Código	Nome	Município	Altitude	Responsável	Operadora	Disponibilidade de dados / período		Utilizada no estudo*
						Precipitação	Clima	
2851002	ANDRÉ DA ROCHA	LAGOA VERMELHA	705	DEPRC	DEPRC	01/03/1951 - 31/03/1980	-	-
2851003	ANTÔNIO PRADO	ANTÔNIO PRADO	630	ANA	CPRM	01/05/1943 - 31/10/2014	-	sim
2851004	ARACA	NOVA PRATA	560	DEPRC	DEPRC	13/06/1954 - 31/05/1978	-	sim
2951051	ARROIO FAXINAL (SAMAE)	CAXIAS DO SUL	720	CEEE	CEEE	-	-	-
2851039	ARROIO MULADA	SÃO MARCOS	700	DEPRC	DEPRC	-	-	-
2951076	ARROIO SANTA CRUZ	TAQUARI	-	SEMA-RS	MAGNA	-	-	-
2852003	ARVOREZINHA	ARVOREZINHA	731	DEPRC	DEPRC	01/07/1948 - 31/12/1978	-	sim
2852004	AULER	SOLEDADE	700	CEEE	CEEE	03/12/1962 - 31/12/2012	-	sim
2950003	AZULEGA	CAMBARÁ DO SUL	-	CEEE	CEEE	31/05/1947 - 31/12/1978	-	-
2851057	BALSA DO TURVO	ANTÔNIO PRADO		DA ILHA	DA ILHA	-	-	-
2951048	BARRA DO DUDÚLIO	POUSO NOVO	140	DEPRC	DEPRC	-	-	-
2951039	BARRA DO ZEFERINO	ENCANTADO	80	DEPRC	DEPRC	01/01/1996 - 31/12/1997	-	-
2952001	BARROS CASSAL	BARROS CASSAL	620	ANA	CPRM	01/04/1986 - 31/10/2014	-	sim
2952002	BARROS CASSAL	BARROS CASSAL	625	DEPRC	DEPRC	01/07/1948 - 31/12/1978	-	sim
2951003	BENTO GONÇALVES	BENTO GONÇALVES	640	INMET	INMET	01/09/1935 - 30/06/1998	sim	-
2952023	BOA VISTA	BARROS CASSAL	520	DEPRC	DEPRC	-	-	-
2850001	BOM JESUS	BOM JESUS	1048	INMET	INMET	01/05/1948 - 31/03/1999	sim	-
2850012	BOM JESUS (APARADOS DA SERRA)	BOM JESUS	1040	ANA	ANA	28/08/1944 - 30/11/1944	-	-
2951004	BOM RETIRO DO SUL	BOM RETIRO DO SUL	50	DEPRC	DEPRC	-	-	-
2952033	BURRO MORTO	FONTOURA XAVIER	720	DEPRC	DEPRC	-	-	-

Apêndice B – Quadro das estações pluviométricas cadastradas no sistema Hidroweb da ANA com informações da disponibilidade de dados e utilização no estudo

(continuação)

Código	Nome	Município	Altitude	Responsável	Operadora	Disponibilidade de dados / período		Utilizada no estudo*
						Precipitação	Clima	
2852056	CAMARGO	CAMARGO	-	SEMA-RS	MAGNA	-	-	-
2950007	CAMBARÁ DO SUL	CAMBARÁ DO SUL	1000	CEEE	CEEE	08/08/1944 - 31/12/1978	-	-
2950054	CAMBARÁ DO SUL	CAMBARÁ DO SUL	905	INMET	INMET	01/01/1998 - 31/12/1998	-	-
2950008	CAMISAS	CAMBARÁ DO SUL	920	CEEE	CEEE	19/02/1946 - 31/10/2012	-	sim
2852052	CAMPO DO MEIO	GENTIL	750	ANA	CPRM	20/12/2002 - 31/10/2014	-	sim
2852044	CAMPO NOVO	FONTOURA XAVIER	740	DEPRC	DEPRC	-	-	-
2850002	CAPELA SÃO JOSÉ DOS AUSENTES	SÃO JOSÉ DOS AUSENTES	1150	CEEE	CEEE	16/01/1961 - 31/12/2012	-	-
2951007	CARLOS BARBOSA	CARLOS BARBOSA	679	DEPRC	DEPRC	01/07/1952 - 31/12/1966	-	-
2851035	CASCA	CASCA	650	DEPRC	DEPRC	-	-	-
2851005	CASCA I	CASCA	600	CEEE	CEEE	05/09/1944 - 31/12/2012	-	sim
2850016	CAZUZA FERREIRA	SÃO FRANCISCO DE PAULA	960	ANA	CPRM	19/12/2002 - 31/10/2014	-	sim
2952040	ce3'	PROGRESSO	-	SEMA-RS	CERILUZ GERAÇÃO	-	-	-
2851046	CGH GUAPORÉ JUSANTE	GUAPORÉ	-	CPFL-SUL	CPFL-SUL	-	-	-
2851045	CGH GUAPORÉ MONTANTE 1	GUAPORÉ	-	CPFL-SUL	CPFL-SUL	-	-	-
2851049	CGH SALTINHO JUSANTE	VACARIA	-	CPFL-SUL	CPFL-SUL	-	-	-
2851047	CGH SALTINHO MONTANTE 1	VACARIA	-	CPFL-SUL	CPFL-SUL	-	-	-

Apêndice B – Quadro das estações pluviométricas cadastradas no sistema Hidroweb da ANA com informações da disponibilidade de dados e utilização no estudo

(continuação)

Código	Nome	Município	Altitude	Responsável	Operadora	Disponibilidade de dados / período		Utilizada no estudo*
						Precipitação	Clima	
2851048	CGH SALTINHO MONTANTE 2	VACARIA	-	CPFL-SUL	CPFL-SUL	-	-	-
2951044	CONVENTOS	LAJEADO	90	DEPRC	DEPRC	-	-	-
2851037	COTIPORÃ	COTIPORÃ	605	DEPRC	DEPRC	01/03/1951 - 31/12/1978	-	-
2852039	COXILHA DA TAIPA	SOLEDADE	720	DEPRC	DEPRC	-	-	-
2851036	COXILHA GRANDE	VACARIA	955	DEPRC	DEPRC	-	-	-
2850005	CRIÚVA	SÃO MARCOS	850	DEPRC	DEPRC	-	-	-
2850022	CRIÚVA	CAXIAS DO SUL	-	SEMA-RS	MAGNA	-	-	-
2952037	DEODORO	VENANCIO AIRES	420	ANA	CPRM	15/08/2004 - 31/10/2014	-	-
2851006	DOIS LAJEADOS	DOIS LAJEADOS	450	DEPRC	DEPRC	01/03/1951 - 31/12/1978	-	sim
2951010	ENCANTADO	ENCANTADO	60	ANA	CPRM	19/04/1943 - 31/10/2014	-	sim
2951011	ENCANTADO	ENCANTADO	148	DEPRC	DEPRC	01/05/1943 - 31/12/1951	-	sim
2851007	ENCRUZILHADA II	LAGOA VERMELHA	900	CEEE	CEEE	01/11/1962 - 30/09/1982	-	-
2951012	ESTRELA	ESTRELA	198	SOPRS	SOPRS	27/06/1950 - 31/03/1952	-	-
2851009	FAGUNDES VARELA	VERANÓPOLIS	650	CEEE	CEEE	01/01/1962 - 31/12/2001	-	-
2950048	FAXINAL DOS PELÚCIOS	SÃO FRANCISCO DE PAULA	920	CEEE	CEEE	29/06/1976 - 31/12/2001	-	-
2950014	FAZENDA DO PASSO RASO	SÃO FRANCISCO DE PAULA	920	CEEE	CEEE	23/07/1947 - 31/03/1976	-	-
2851010	FAZENDA ROSEIRA	VACARIA	800	CEEE	CEEE	27/10/1962 - 31/12/2012	-	sim
2951015	FLORES DA CUNHA	FLORES DA CUNHA	750	DEPRC	DEPRC	29/03/1952 - 31/12/1978	-	-
2951077	FLORES DA CUNHA	FLORES DA CUNHA	-	SEMA-RS	MAGNA	-	-	-
2852013	FONTOURA XAVIER	FONTOURA XAVIER	760	DEPRC	DEPRC	-	-	-

Apêndice B – Quadro das estações pluviométricas cadastradas no sistema Hidroweb da ANA com informações da disponibilidade de dados e utilização no estudo

(continuação)

Código	Nome	Município	Altitude	Responsável	Operadora	Disponibilidade de dados / período		Utilizada no estudo*
						Precipitação	Clima	
2951016	GARIBALDI	GARIBALDI	635	DEPRC	DEPRC	-	-	-
2952049	GRAMADO XAVIER	SANTA CRUZ DO SUL	-	SEMA-RS	MAGNA	-	-	-
2851011	GUAPORÉ	GUAPORÉ	471	INMET	INMET	01/01/1912 - 26/11/1980	sim	sim
2851044	GUAPORÉ	GUAPORÉ	520	ANA	CPRM	01/05/1985 - 31/10/2014	sim	sim
2852055	GUAPORÉ	MONTAURI	-	SEMA-RS	MAGNA	-	-	-
2852051	GUAPORÉ 2 - MONTANTE	GUAPORÉ	-	ELETROSUL	ELETROSUL	-	-	-
2851054	IBIRAIARAS	IBIRAIARAS	-	SEMA-RS	MAGNA	-	-	-
2852014	ILÓPOLIS	ILÓPOLIS	650	CEEE	CEEE	16/08/1944 - 31/12/2012	-	sim
2851008	ITUIM (ENTRE RIOS)	VACARIA	720	CEEE	CEEE	01/12/1945 - 31/12/1981	-	-
2951017	JANSEN	FARROUPILHA	500	CEEE	CEEE	01/11/1962 - 31/12/2012	-	sim
2850013	KORFF	VACARIA	800	DEPRC	DEPRC	29/03/1952 - 31/12/1981	-	-
2951018	LAJEADO	LAJEADO	40	ANA	ANA	20/10/1939 - 12/07/1980	-	-
2951031	LAJEADO	LAJEADO	30	DEPRC	DEPRC	01/02/1997 - 28/02/1997	-	-
2951063	LAJEADO	LAJEADO	66	INMET	INMET	02/10/1978 - 16/06/1988	sim	-
2950019	LAJEADO GRANDE	SÃO FRANCISCO DE PAULA	900	CEEE	CEEE	22/04/1941 - 31/12/2012	-	sim
2851015	LINHA GOMERCINDO	ANTÔNIO PRADO	710	DEPRC	DEPRC	28/03/1952 - 28/02/1967	-	-
2951092	LINHA JOSÉ JÚLIO	SANTA TEREZA	-	CPRM	CPRM	-	-	-
2952018	LINHA SANTA TEREZA	PUTINGA	450	DEPRC	DEPRC	-	-	-
2852041	LINHA TORRES GONÇALVES	ARVOREZINHA	705	DEPRC	DEPRC	-	-	-
2852016	MARAU	MARAU	580	CEEE	CEEE	27/08/1944 - 31/12/2012	-	sim

Apêndice B – Quadro das estações pluviométricas cadastradas no sistema Hidroweb da ANA com informações da disponibilidade de dados e utilização no estudo

(continuação)

Código	Nome	Município	Altitude	Responsável	Operadora	Disponibilidade de dados / período		Utilizada no estudo*
						Precipitação	Clima	
2952006	MARQUES DE SOUSA	ARROIO DO MEIO	45	DEPRC	DEPRC	01/01/1949 - 31/12/1978	-	sim
2852017	MAURÍCIO CARDOSO	ARVOREZINHA	765	DEPRC	DEPRC	22/03/1952 - 31/12/1978	-	sim
2850020	MONTE ALEGRE DOS CAMPOS	MONTE ALEGRE DOS CAMPOS	950	ANA	CPRM	24/12/2002 - 31/10/2014	-	sim
2952047	MONTE ALVERNE	SANTA CRUZ DO SUL	-	SEMA-RS	MAGNA	-	-	-
2951019	MONTE BELO	BENTO GONÇALVES	550	CEEE	CEEE	01/01/1996 - 31/12/2001	-	-
2951020	MONTE CLARO	VERANÓPOLIS	370	CEEE	CEEE	01/01/1996 - 31/12/2001	-	-
2951070	MUÇUM	MUÇUM	240	ANA	CPRM	26/02/1987 - 30/10/2014	-	sim
2851016	MUITOS CAPÕES	VACARIA	955	DEPRC	DEPRC	-	-	-
2851055	MUITOS CAPÕES	MUITOS CAPÕES	-	SEMA-RS	MAGNA	-	-	-
2952007	NOVA BRESCIA	NOVA BRESCIA	300	DEPRC	DEPRC	01/01/1949 - 31/12/1978	-	-
2851017	NOVA PRATA	NOVA PRATA	650	DEPRC	DEPRC	-	-	-
2851018	NOVA ROMA	NOVA ROMA DO SUL	580	DEPRC	DEPRC	11/04/1952 - 31/12/1978	-	-
2851019	PARAÍ	PARAI	660	DEPRC	DEPRC	01/01/1996 - 31/12/1997	-	-
2850007	PASSO DA GARRAFA	CAMBARÁ DO SUL	950	CEEE	CEEE	01/07/1947 - 31/03/1970	-	-
2851020	PASSO DAS PEDRAS	IBIAÇA	750	CEEE	CEEE	01/01/1963 - 31/12/2012	-	-
2851021	PASSO DO PRATA	VERANÓPOLIS	400	ANA	CPRM	07/11/1957 - 31/10/2014	-	sim
2851022	PASSO MIGLIAVACA	CASCA	380	ANA	CPRM	09/10/1957 - 31/10/2014	-	sim
2850009	PASSO TAINHAS	SÃO FRANCISCO DE PAULA	640	ANA	CPRM	01/06/1943 - 31/10/2014	-	sim
2851068	PCH BOA FÉ BARRAMENTO	-		-	-	-	-	-

Apêndice B – Quadro das estações pluviométricas cadastradas no sistema Hidroweb da ANA com informações da disponibilidade de dados e utilização no estudo

(continuação)

Código	Nome	Município	Altitude	Responsável	Operadora	Disponibilidade de dados / período		Utilizada no estudo*
						Precipitação	Clima	
2851067	PCH BOA FÉ MONTANTE	-	373	-	-	-	-	-
2851066	PCH CAÇADOR MONTANTE	SERAFINA CORRÊA	-	CAÇADOR	CAÇADOR	-	-	-
2851065	PCH CAÇADOR PONTE SÃO DOMINGOS	SERAFINA CORRÊA	-	CAÇADOR	CAÇADOR	-	-	-
2852005	PCH CAPIGUI BARRAMENTO	MARAU	660	CEEE	CEEE	06/01/1956 - 31/12/1982	-	sim
2852028	PCH CAPIGUI JUSANTE	MARAU		CEEE	CEEE	01/06/1942 - 31/12/1982	-	sim
2950072	PCH CAZUZA BARRAMENTO	-	788	-	-	-	-	-
2851062	PCH COTIPORÃ JUSANTE	COTIPORÃ	-	COTIPORÃ	COTIPORÃ	-	-	-
2950069	PCH CRIÚVA MONTANTE	CAXIAS DO SUL	-	CRIÚVA	CRIÚVA	-	-	-
2851056	PCH DA ILHA ALÇA	VILA FLORES	661	DA ILHA	DA ILHA	-	-	-
2851058	PCH DA ILHA BARRAMENTO	VERANÓPOLIS	-	DA ILHA	DA ILHA	-	-	-
2851031	PCH GUAPORÉ	GUAPORÉ	170	HIDROTÉRMICA	HIDROTÉRMICA	01/10/1970 - 31/12/1982	-	sim
2851063	PCH LINHA EMILIA JUSANTE	DOIS LAJEADOS	-	LINHA EMILIA	LINHA EMILIA	-	-	-
2850029	PCH PALANQUINHO ALÇA	CAXIAS DO SUL	-	SERRANA	SERRANA	-	-	-
2850032	PCH PALANQUINHO BARRAMENTO	CAXIAS DO SUL	520	SERRANA	SERRANA	-	-	-



Apêndice B – Quadro das estações pluviométricas cadastradas no sistema Hidroweb da ANA com informações da disponibilidade de dados e utilização no estudo

(continuação)

Código	Nome	Município	Altitude	Responsável	Operadora	Disponibilidade de dados / período		Utilizada no estudo*
						Precipitação	Clima	
2850036	PCH PASSO DO MEIO JUSANTE	-	-	-	-	-	-	-
2850034	PCH PASSO DO MEIO MONTANTE	-	-	-	-	-	-	-
2850035	PCH PASSO DO MEIO MONTANTE TAINHAS	-	-	-	-	-	-	-
2952051	PCH RASTRO DE AUTO BARRAMENTO	-	258	-	-	-	-	-
2951079	PCH RIO SÃO MARCOS	SÃO MARCOS	-	RIO SÃO MARCOS	RIO SÃO MARCOS	-	-	-
2952050	PCH SALTO FORQUETA JUSANTE	PUTINGA	190	CERTEL TEUTONIA	CERTEL TEUTONIA	-	-	-
2851069	PCH SANTA CAROLINA JUSANTE	-	464	-	-	-	-	-
2851064	PCH SÃO PAULO BARRAMENTO	VISTA ALEGRE DO PRATA	-	SÃO PAULO	SÃO PAULO	-	-	-
2850033	PCH SERRA DOS CAVALINHOS II JUSANTE	-	465	-	-	-	-	-
2952042	PONTE DE ZINCO	VENANCIO AIRES	-	SEMA-RS	MAGNA	-	-	-
2851023	PONTE SANTA RITA	LAGOA VERMELHA	800	ANA	ANA	29/10/1957 - 30/04/1984	-	-
2952029	POUSO NOVO	POUSO NOVO	490	DEPRC	DEPRC	01/01/1949 - 31/12/1978	-	sim
2851024	PRATA	NOVA PRATA	680	ANA	CPRM	27/08/1944 - 31/10/2014	-	sim
2952024	QUATRO LÉGUAS	BOQUEIRÃO DO LEÃO	660	DEPRC	DEPRC	-	-	-

Apêndice B – Quadro das estações pluviométricas cadastradas no sistema Hidroweb da ANA com informações da disponibilidade de dados e utilização no estudo

(continuação)

Código	Nome	Município	Altitude	Responsável	Operadora	Disponibilidade de dados / período		Utilizada no estudo*
						Precipitação	Clima	
2951042	RELVADO	RELVADO	270	DEPRC	DEPRC	01/07/1948 - 30/11/1978	-	-
2850023	RIACHINHO	MONTE ALEGRE DOS CAMPOS	-	SEMA-RS	MAGNA	-	-	-
2952041	RIACHO CASTELHANO	VENANCIO AIRES	-	SEMA-RS	MAGNA	-	-	-
2851053	RIO TURVO	LAGOA VERMELHA	-	SEMA-RS	MAGNA	-	-	-
2851034	SANTA BÁRBARA	DOIS LAJEADOS	80	DEPRC	DEPRC	-	-	-
2952027	SANTA CLARA DO SUL	LAJEADO	100	DEPRC	DEPRC	-	-	-
2951037	SANTA TERESA	BENTO GONÇALVES	675	SOPRS	SOPRS	-	-	-
2952030	SANTA TERESA	BENTO GONÇALVES	50	DEPRC	DEPRC	-	-	-
2951001	SANTA TERESA (ARATINGA)	BENTO GONÇALVES	350	DEPRC	DEPRC	-	-	-
2952038	SÃO JOSÉ DO HERVAL	SÃO JOSÉ DO HERVAL	550	ANA	CPRM	26/08/2004 - 31/10/2014	-	sim
2952045	SÃO JOSÉ DO HERVAL	FONTOURA XAVIER	-	SEMA-RS	MAGNA	-	-	-
2851025	SÃO MARCOS I	SÃO MARCOS	755	DEPRC	DEPRC	-	-	-
2850021	SÃO TOMÉ	SÃO FRANCISCO DE PAULA	-	SEMA-RS	MAGNA	-	-	-
2950033	SECA	CAXIAS DO SUL	880	CEEE	CEEE	31/08/1944 - 31/12/2012	-	sim
2851026	SEGREDO	VACARIA	700	CEEE	CEEE	25/08/1944 - 31/12/2001	-	-
2851027	SERAFINA CORRÊA	SERAFINA CORRÊA	620	CEEE	CEEE	08/12/1960 - 30/11/2000	-	-
2951047	SETE LEGUAS	BOQUEIRÃO DO LEÃO	660	DEPRC	DEPRC	-	-	-
2951078	TABAÍ	TABAÍ	-	SEMA-RS	MAGNA	-	-	-

Apêndice B – Quadro das estações pluviométricas cadastradas no sistema Hidroweb da ANA com informações da disponibilidade de dados e utilização no estudo

(continuação)

Código	Nome	Município	Altitude	Responsável	Operadora	Disponibilidade de dados / período		Utilizada no estudo*
						Precipitação	Clima	
2950035	TAINHAS	SÃO FRANCISCO DE PAULA	820	CEEE	CEEE	07/08/1944 - 31/12/1978	-	-
2951030	TAQUARI	TAQUARI	76	INMET	INMET	01/01/1932 - 31/01/1967	sim	-
2951058	TAQUARI - IPAGRO	TAQUARI	76	INMET	INMET	-	-	-
2951091	TEUTONIA	TEUTÔNIA	63	INMET	INMET	-	-	-
2951038	TEUTÔNIA	TEUTÔNIA	100	DEPRC	DEPRC	-	-	-
2851028	TRINTA E CINCO	DAVID CANABARRO	650	CEEE	CEEE	30/10/1962 - 31/12/2012	-	sim
2851029	TURVO	LAGOA VERMELHA	680	DEPRC	DEPRC	-	-	-
2951085	UHE 14 DE JULHO ALÇA	COTIPORÃ	-	CERAN	CERAN	30/03/2009 - 31/12/2012	-	-
2951089	UHE 14 DE JULHO BARRAMENTO	COTIPORÃ	-	CERAN	CERAN	28/03/2009 - 31/12/2012	-	-
2951083	UHE 14 DE JULHO JUSANTE	BENTO GONÇALVES	-	CERAN	CERAN	31/03/2009 - 31/12/2012	-	-
2951084	UHE 14 DE JULHO MONTANTE	VERANÓPOLIS	-	CERAN	CERAN	05/03/2009 - 31/12/2012	-	-
2951087	UHE CASTRO ALVES ALÇA	NOVA ROMA DO SUL	206	CERAN	CERAN	18/03/2009 - 31/12/2012	-	-
2951086	UHE CASTRO ALVES BARRAMENTO	NOVA ROMA DO SUL	250	CERAN	CERAN	19/03/2009 - 31/12/2012	-	-
2851060	UHE CASTRO ALVES RS-122	ANTÔNIO PRADO	-	CERAN	CERAN	01/08/2009 - 31/12/2012	-	-
2951088	UHE CASTRO ALVES TEGA	NOVA PADUA	-	CERAN	CERAN	01/04/2009 - 31/12/2012	-	-

Apêndice B – Quadro das estações pluviométricas cadastradas no sistema Hidroweb da ANA com informações da disponibilidade de dados e utilização no estudo

(conclusão)

Código	Nome	Município	Altitude	Responsável	Operadora	Disponibilidade de dados / período		Utilizada no estudo*
						Precipitação	Clima	
2851059	UHE MONTE CLARO Balsa DO PRATA	NOVA ROMA DO SUL	-	CERAN	CERAN	19/03/2009 - 31/12/2012	-	-
2951090	UHE MONTE CLARO BARRAMENTO	VERANÓPOLIS	-	CERAN	CERAN	20/03/2009 - 31/12/2012	-	-
2951082	UHE MONTE CLARO JUSANTE 1 (ALÇA)	BENTO GONÇALVES	-	CERAN	CERAN	01/04/2009 - 31/12/2012	-	-
2951093	UHE MONTE CLARO JUSANTE 2	VERANÓPOLIS	118	CERAN	CERAN	-	-	-
2851032	USINA SALTINHO	VACARIA	550	CEEE	CEEE	29/04/1958 - 31/12/1982	-	-
2952014	VENÂNCIO AIRES	VENANCIO AIRES	40	DEPRC	DEPRC	-	-	-
2851033	VERANÓPOLIS	VERANÓPOLIS	670	DEPRC	DEPRC	01/03/1951 - 31/12/1978	-	-
2851041	VERANÓPOLIS	VERANÓPOLIS		INMET	INMET	-	-	-
2851042	VERANÓPOLIS - IPAGRO	VERANÓPOLIS	705	INMET	INMET	-	-	-
2951043	VILA PROGRESSO	PROGRESSO	445	DEPRC	DEPRC	01/12/1948 - 31/12/1997	-	-
2951036	VILA SCHARLAU	ESTÂNCIA VELHA	50	CEEE	CEEE	28/03/1961 - 31/12/1978	-	-
2951046	VILA SÉRIO	LAJEADO	590	DEPRC	DEPRC	-	-	-
2950063	VILA TAINHAS	SÃO FRANCISCO DE PAULA	-	ANA	CPRM	05/04/2000 - 31/10/2014	-	sim
2952048	VILA VERDE	GENERAL CÂMARA	-	SEMA-RS	MAGNA	-	-	-
2851001	VISTA ALEGRE	VISTA ALEGRE DO PRATA	550	DEPRC	DEPRC	01/03/1951 - 31/12/1981	-	sim
2951045	XAXIM	LAJEADO	550	DEPRC	DEPRC	-	-	-

## Apêndice C – Roteiro de operacionalização do modelo de previsão elaborado

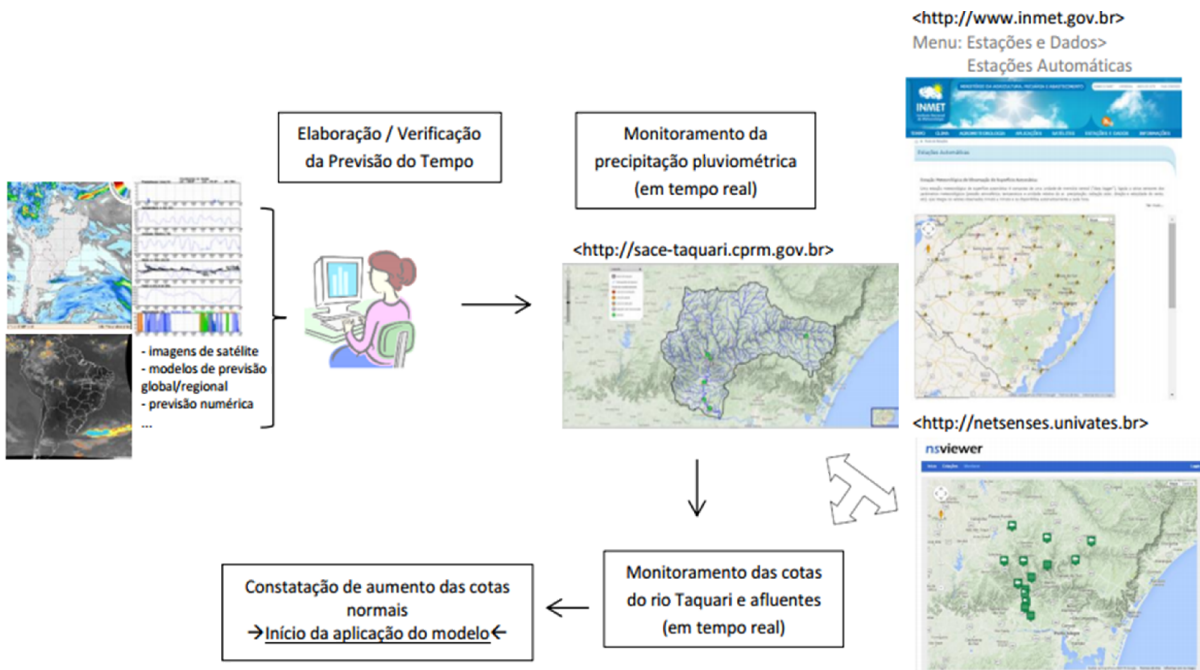
Aqui é apresentado um breve roteiro de execução do modelo de previsão elaborado para a região de estudo, utilizando dados de entrada com disponibilidade temporal inferior à diária.

Constatado o momento em que começa a ocorrer elevados volumes de precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica, através de imagens de satélites e dados dos pluviômetros/pluviógrafos em tempo real, deve-se acompanhar o comportamento do nível do rio Taquari na região do Vale do Taquari. Este ocorre pelo acesso aos sistemas de monitoramento das variáveis hidrológicas em tempo real, da Univates (<[http://netsenses.univates.br/station\\_map.php](http://netsenses.univates.br/station_map.php)>) e da CPRM (<<http://sace-taquari.cprm.gov.br/sace-taquari/#>>), que disponibilizam por meio de páginas da internet os dados de linígrafos, com intervalo de observação horário ou inferior.

Verificado que o nível do rio Taquari, nas estações a montante de Estrela (ex.: Muçum, Encantado) encontra-se em rápida elevação, em um curto espaço de tempo, com expectativa de alcance de cotas acima do leito normal, deve-se iniciar a aplicação do modelo de previsão. Para tal, em cada hora busca-se a cota máxima ocorrida nas estações de Encantado e Muçum, até aquele momento, e insere-se os dados na equação do modelo (eq. 1 ou eq. 2). O resultado indicará uma cota provável para os próximos instantes, mas a incerteza será menor quando as cotas começarem a baixar nas estações a montante, podendo, assim, o horizonte de previsão ser um pouco maior (em termos de horas).

Resumidamente, a Figura 41 apresenta um esquema do roteiro de execução do modelo de previsão elaborado. Cabe aqui salientar que, conforme normativa legal (Lei n.º 12.608, BRASIL, 2012b), somente a Defesa Civil pode repassar alertas de desastres naturais, como inundações, a sociedade. Desta forma, a instituição que utilizar e operar este modelo de previsão elaborado e proposto deve ao final de suas avaliações informar os dados à Defesa Civil da região (ou municipal).

Figura 41 - Esquema detalhado do roteiro de execução do modelo de previsão da cota máxima de inundação em Estrela.



1 - Coleta dos dados de cota

<http://netsenses.univates.br>  
 nsviewer **Clicar em Monitorar**

**Selecionar a Estação**

<http://sace-taquari.cprm.gov.br>

**Clicar sobre a estação**

**Baixar os dados**

**Baixar os dados**

2 - Aplicar a equação aos dados

Obs.: em cada instante de tempo (hora), considerando a cota máxima até o momento nas estações à montante (Encantado e Muçum).

$$y = 1136,747673 + (x1 \times 0,617597) + (x2 \times 0,179459)$$

- y = cota máxima em Estrela (cm)
- x1 = cota máxima em Encantado (cm)
- x2 = cota máxima em Muçum (cm)

Dependendo do resultado (se acima de 19 m) repassar as informações à Defesa Civil Regional

