

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA PCH SALTO FORQUETA NA
ENCHENTE DE 04 DE JANEIRO DE 2010**

Rodrigo da Cas

Lajeado, junho de 2015.

Rodrigo da Cas

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA PCH SALTO FORQUETA NA
ENCHENTE DE 04 DE JANEIRO DE 2010**

Monografia apresentada no Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas (CETEC), do Centro Universitário Univates, como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Garcia de Oliveira

Lajeado, junho de 2015

Rodrigo da Cas

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA PCH SALTO FORQUETA NA
ENCHENTE DE 04 DE JANEIRO DE 2010**

A Banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de curso 2, na linha de formação específica em Engenharia Civil, do Centro Universitário Univates, como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Prof. Guilherme Garcia de Oliveira (Orientador), UNIVATES.

Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental,
UFRGS, Brasil.

Prof. Gustavo Reisdörfer, UNIVATES.

Doutorado em andamento em Engenharia de Processos.
UFSM, Brasil

Prof. Flávio Aguiar Folletto, UNIVATES.

Especialista em Geoprocessamento e Informações Espaciais;
Mestrado em andamento em Engenharia Civil Universidade do
Vale do Rio dos Sinos, UNISINOS, Brasil

Lajeado, junho de 2015

“Se um dia tiver que escolher entre o mundo e o amor lembre-se: se escolher o mundo ficará sem o amor, mas se escolher o amor com ele você conquistará o mundo” Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por estar sempre guiando meus passos e me auxiliando nas provas da vida.

Agradeço aos meus pais Clarice e Ivanir que são exemplos de amor, respeito e caráter e que sempre estiveram ao meu lado para me incentivar, proteger, esforçando-se muito para me proporcionar a conclusão deste sonho.

Agradeço à minha querida namorada Aline Dip Toniolo, que esteve ao meu lado em momentos essenciais, me apoiando e dando forças, sempre que precisei.

Agradeço à minha querida irmã Carina, que esteve ao meu lado em momentos essenciais, me apoiando e dando forças.

Ao meu orientador Guilherme, que foi fundamental desde o direcionamento do tema até a conclusão deste trabalho, auxiliando sempre quando estive nervoso ou com dúvidas. Obrigado por toda a paciência, amizade e compreensão.

Aos demais professores da Instituição pelos conhecimentos compartilhados.

Aos meus amigos, por toda a amizade e compreensão, e aos meus queridos colegas de faculdade, que fizeram com que esses anos fossem muito mais divertidos e especiais.

À empresa Certel pelo material fornecido e os colegas da área de Geração de Energia, pelo carinho e apoio sempre que precisei.

A todos que me ajudaram de uma ou outra forma a chegar até aqui, muito obrigado! Não há palavras para expressar a minha gratidão.

RESUMO

A hidrologia é a ciência que estuda os fenômenos físicos relacionados à água no planeta Terra. Dessa maneira, fundamentadas nos estudos hidrológicos, são projetadas obras hidráulicas que auxiliam as pessoas, seja para o desenvolvimento social ou prevenção de desastres naturais. O estudo da água busca entender os recursos hídricos no mundo para o benefício da população, no abastecimento de água, irrigação, hidroeletricidade, navegação e controle de inundações. Este trabalho visa estudar a influência do barramento da Pequena Central Hidrelétrica (PCH) Salto Forqueta no evento extremo hidrometeorológico ocorrido em 04 de janeiro de 2010 que causou a inundação parcial da cidade de Marques de Souza, no interior do Rio Grande do Sul. Esta análise foi viável a partir do uso conjugado de dois modelos hidrológicos para simular o evento: o modelo chuva-vazão, SCS (*Soil Conservation Service*) e o modelo de propagação da onda de cheia Muskingum-Cunge. Foram efetuadas duas simulações de modo independente, a primeira considerando o barramento da PCH Salto Forqueta para calibrar os parâmetros e obter um cenário semelhante ao observado em Marques de Souza, e, a segunda removendo o barramento para verificar as possíveis alterações na forma do hidrograma e nas cotas atingidas pelo rio Forqueta. No estudo foi constatada uma pequena influência do barramento na enchente, reduzindo o pico da cheia na cidade de Marques de Souza em 6,13 m³/s na vazão de entrada e, 44,57 m³/s na vazão de saída, em comparação ao cenário sem o barramento do rio Forqueta. Na comparação entre as cotas atingidas, foi observada uma redução insignificante, de apenas 1 cm no nível do rio Forqueta em virtude da presença do barramento.

Palavras-chave: Barragens. Inundação. Modelos Hidrológicos.

ABSTRACT

Hydrology is the science that studies the physical phenomena related to water on planet earth. Thus, based on hydrological studies waterworks are designed to help people, whether for social development or prevention of natural disasters. The water study seeks to understand the water resources in the world for the benefit of the population, such as water supply, irrigation, hydropower, navigation and flood control. This work aims to study the influence of Small Hydro Power Plant bus (PCH) Salto Forqueta in extreme hydrometeorological event occurred on January 4, 2010 that caused the partial flooding of the city of Marques de Souza. This analysis was carried out from the combined use of two hydrological models to simulate the event: SCS rainfall-runoff model (Soil Conservation Service) and the propagation model of the full-Muskingum Cunge. In this sense, two simulations were conducted independently, the first considering the dams PCH Salto Forqueta to calibrate parameters and get a scenario similar to that observed in Marques de Souza, and the second by removing the dams to check for any changes in the shape of the hydrograph and the quotas affected by the rio Forqueta. In this study we observed a small influence on the bus flooding, reducing the peak of the full town Marques de Souza at 6,13 m³ / s input flow and 44,57 m³ / s output flow, compared to the scenario without the dams rio Forqueta. Comparing the affected shares, an insignificant reduction of only 1 cm in rio Forqueta level due to the presence of the bus was observed.

Keywords: Dams; Flood; Hydrological Models.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Equação da Continuidade	35
Equação 2 – Equação da Quantidade de Movimento	35
Equação 3 – Equação do Escomanto Superficial Acumulado.....	36
Equação 4 – Equação da infiltração	36
Equação 5 - Equação da vazão máxima	36
Equação 6 – Equação do tempo de pico	37
Equação 7 - Equação do tempo de concentração	45
Equação 8 - Equação da continuidade concentrada.....	58
Equação 9 – Equação da área da seção transversal	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Barragem da PCH Salto Forqueta.....	24
Figura 2 - Localização da bacia hidrográfica Taquari Antas.....	39
Figura 3 – Mapa com localização da bacia hidrográficas do rio Forqueta e Fão e divisão das sub-bacias.	39
Figura 4 - PCH Salto Forqueta	40

Figura 5 – Localização da PCH Salto Forqueta	41
Figura 6 – Mapa da Bacia Taquari-Antas com as altitudes	44
Figura 7 - Mapa da divisão das bacias e marcação da foz de cada bacia	45
Figura 8 - Tabela de atributos do ArcGIS com área e desnível altimétrico (<i>RANGE</i>)....	47
Figura 9 - Medição da largura da planície de inundação do trecho Médio Rio Forqueta	53
Figura 10 - Perfil transversal do projeto básico da PCH Foz do Jacutinga	54
Figura 11 - Perfil transversal do projeto básico PCH Vale Fundo	55
Figura 12 - Medição de 10 seções transversais do rio Forqueta no <i>Google Earth</i>	57
Figura 13 - Parâmetros iniciais do projeto do IPHS1	61
Figura 14 - Parâmetros do modelo SCS no IPHS1.....	63
Figura 15 - Parâmetros do modelo <i>Muskingum-Cunge</i>	63
Figura 16 - Hidrograma vazão x precipitação da sub-bacia Nascente do Rio Fão.....	74
Figura 17 - Hidrograma vazão x precipitação da sub-bacia Alto Rio Forqueta	74
Figura 18 - Figura com os trechos de rio estudados	88

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Precipitação Horária INMET Soledade RS.....	66
Gráfico 2 - Precipitação Horária estação da Defesa Civil de Arvorezinha	67
Gráfico 3 – Precipitação Horária Estação da Defesa Civil de Fontoura Xavier.....	68
Gráfico 4 – Precipitação Horária Estação da Defesa Civil de Progresso	69
Gráfico 5 – Precipitação Horária Estação da Defesa Civil de Putinga.....	70
Gráfico 6 – Precipitação Horária Estação da Def. Civil RS de Marques de Souza.....	71
Gráfico 7 – Altitudes do barramento da PCH Salto Forqueta obtidas na simulação.....	76
Gráfico 8 - Hidrograma de vazões do vertedor barramento da PCH Salto Forqueta obtidas na simulação.....	76
Gráfico 9 – Variação das cotas do Médio Rio Forqueta com o barramento e sem o barramento	78

Gráfico 10 – Variação das vazões do Médio Rio Forqueta com o barramento e sem o barramento	79
Gráfico 11 - Vazões do trecho de rio Médio Rio Forqueta 01 sem barramento.....	82
Gráfico 12 – Vazões do trecho de rio Médio Rio Forqueta 01 com barramento	82
Gráfico 13 - Vazões do trecho do rio Baixo Rio Fão	85
Gráfico 14 – Vazões do trecho do rio Médio Rio Forqueta sem influência do barramento	86
Gráfico 15 – Comparativo de cotas do trecho do Baixo Rio Fão com as cotas do trecho Médio Forqueta	86

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tabela do CN para bacias rurais	50
Quadro 2 - Tabela do CN para bacias Urbanas	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Capacidade Instalada de Geração Elétrica - em 31/12/2013.....	25
Tabela 2 - Tabela de dados obtidos através do geoprocessamento da imagem MDE de satélite.....	48
Tabela 3 - CN obtido em função do cruzamento dos grupos de solo B e C.....	51
Tabela 4: CN médio para cada bacia	52
Tabela 5 - Parâmetros extraídos dos trechos de rio utilizados no modelo <i>Muskingum-Cunge</i>	57
Tabela 6 - Tabela de rugosidade de <i>Manning</i>	58
Tabela 7 - Percentual de influências das chuvas de estação em cada sub-bacia	61
Tabela 8 – Dados gerais da PCH Salto Forqueta.....	64
Tabela 9 – Precipitação horária ocorrida nos municípios da área de estudo	65
Tabela 10 - Parâmetros de CN normal e o utilizado na simulação, reduzido 17 %	72
Tabela 11 – Comparações das vazões do trecho Médio Rio Forqueta com e sem o barramento localizado à jusante do barramento	77

Tabela 12 – Comparação das Cotas do trecho Médio Rio Forqueta localizado à jusante do barramento no rio Forqueta	78
Tabela 13 – Comparação das Cotas do trecho Médio Rio Forqueta 01 situado após a junção entre os rios Fão e o Forqueta	80
Tabela 14 – Comparação das vazões do trecho de rio Médio Rio Forqueta 01, situado a montante da cidade de Marques de Souza.....	81
Tabela 15 – Comparação das vazões do trecho de rio Médio Rio Forqueta 02, situado na cidade de Marques de Souza	83
Tabela 16 - Comparação das cotas do trecho de rio Médio Rio Forqueta 02, trecho da cidade de Marques de Souza	84
Tabela 17 - Vazões nos trechos sem influência do barramento da PCH Salto Forqueta	87

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

a.C	Antes de Cristo
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CBDB	Comitê Brasileiro de Grandes Barragens
CCR	Concreto compactado por rolo
CEEE	Companhia Estadual de Energia Elétrica
CERTEL	Cooperativa Regional de Desenvolvimento Teutônia
CGHs	Centrais Geradores Hidrelétricas
CIGB	Comitê Internacional de Grandes Barragens
DSG	Diretoria de Serviço Geográfico do Exército
ELETROBRAS	Centrais Elétricas Brasileiras
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICOLD	<i>International Commission On Large Dams</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MGB	Modelo de Grandes Bacias
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
PCHs	Pequenas Centrais Hidrelétricas

SEPAE	Sistema de Previsão e Alerta de Enchentes
SRTM	<i>Shuttle Radar Topographic Mission</i>
TOPODATA	Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UHEs	Usinas Hidrelétricas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	19
2.1 Objetivo geral.....	19
2.2 Objetivos específicos.....	19
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3.1 Barragens	20
3.1.1 Histórico das barragens	21
3.1.2 Tipos de barragens	22
3.1.3 Aplicações	24
3.1.4 Pequenas Centrais Hidrelétricas	26
3.2 Inundações.....	27
3.2.1 Enchentes de 04 de janeiro de 2010	30
3.3 Modelos hidrológicos.....	31
3.3.1 Modelo Muskingum-Cunge	34
3.3.2 Modelo Soil Conservation Service (SCS)	35
4 METODOLOGIA.....	38
4.1 Descrição da área de estudo.....	38
4.2 Materiais e Métodos	42
4.2.1 Extração de parâmetros para modelagem hidrológica	43

4.2.1.1 Área (A)	46
4.2.1.2 Desnível altimétrico (H)	46
4.2.1.3 Comprimento do rio principal (L)	47
4.2.1.4 Curva Número (CN).....	48
4.2.1.5 Obtenção dos parâmetros do modelo de <i>Muskingum-Cunge</i>	52
4.2.2 Simulação hidrológica no IPHS1	60
 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	 65
5.1 Análises das Chuvas	65
5.1 Análises das sub-bacias	73
5.2 Análises do escoamento no rio Forqueta junto ao barramento	75
5.3 Análises do escoamento nos demais trechos dos rios Fão e Forqueta	80
 CONCLUSÃO.....	 89
 REFERÊNCIAS	 91
 APÊNDICES	 98
APÊNDICE A – Autorização de uso de documentos da Certel	99
 ANEXOS	 100
ANEXO A – Tabela cota vazão do vertedouro da PCH Salto Forqueta	101
ANEXO B – Tabela cota volume da PCH Salto Forqueta.....	104

1 INTRODUÇÃO

A hidrologia é a ciência que estuda a água na Terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas, e, sua relação com o meio ambiente, incluindo sua relação com as formas vivas (CHOW, 1959; TUCCI, 2000). A hidrologia estuda a água coletando dados básicos referentes à quantidade de água precipitada, evaporada ou escoada pelos rios (PINTO et al., 1976). Assim, a hidrologia é de extrema importância para o entendimento da formação de rios, lagos e oceanos, existentes na superfície terrestre. Segundo Mattos et al. (1975), a hidrologia é muito importante para os engenheiros no que diz respeito ao estudo de projetos de barragens, pontes, drenagens, entre outros.

Os estudos hidrológicos são importantes para prever ou projetar a ocorrência de futuros desastres como enxurradas e inundações. Na etapa de concepção de obras hidráulicas, por exemplo, são realizadas simulações hidrológicas de eventos extremos com recorrência de até 10.000 anos, justamente para reduzir os riscos de comprometimentos estruturais nas obras, quando ocorrer um evento extremo no futuro. As enchentes e inundações, quando causadas pelo excesso de precipitação, têm sua distribuição sazonal semelhante ao fenômeno que as geraram, sendo necessário o estudo das características das precipitações (origem, intensidade, duração, frequência, distribuição temporal e espacial), da região onde se situa, a bacia em questão.

Segundo Ferri e Togni (2012) as enchentes no Vale do Taquari ocorrem anualmente, até mais de uma vez por ano, no rio Taquari. Seus afluentes contribuem para uma concentração de vazões em um intervalo curto de tempo.

No rio Forqueta, um de seus afluentes, não é diferente. Devido aos altos índices de precipitação, junto às características da bacia hidrográfica do rio Forqueta, as enchentes ocorrem rapidamente. As vazões máximas instantâneas, em uma seção, dependem das características morfométricas da bacia hidrográfica. Consequentemente, quanto mais intensas forem as precipitações e menor for a área da bacia hidrográfica, mais concentrada no tempo e no espaço é a resposta hidrológica de um rio, causando enchentes bruscas ou enxurradas.

Na bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas, localizada no Rio Grande do Sul, Brasil, ocorrem processos hidrológicos extremos e distintos. No Vale do Rio Taquari, por exemplo, predominam as inundações graduais, com o aumento do nível do rio na ordem de centímetros por hora, em virtude da grande dimensão da bacia e do elevado tempo de concentração. Nos afluentes do rio Taquari, por outro lado, predominam as inundações bruscas ou enxurradas, com o aumento do nível na ordem de metros por hora, em virtude da menor dimensão destas sub-bacias e a consequente redução no tempo de concentração (FERRI e TOGNI, 2012). No segundo caso, a prevenção e o alerta dificilmente podem ser realizados com antecedência, o que dificulta a ação da Defesa Civil. Entretanto, as águas voltam ao nível normal de forma mais rápida, o que agiliza o processo de reestruturação pós-desastre. Os prejuízos e as perdas materiais são mais concentrados no espaço (os eventos atingem áreas menores), porém mais intensos devido à velocidade do processo, podendo ocasionar até perdas humanas.

Considerados os problemas de inundações do Vale do Taquari, no Rio Grande do Sul, estes causam diversos transtornos à população que reside nas áreas ribeirinhas, atingindo os domicílios, danificando bens materiais e equipamentos públicos, além da proliferação de doenças de veiculação hídrica, o que causa grande preocupação para as autoridades públicas. Segundo Eckhardt et al. (2008), as inundações são fenômenos recorrentes no Vale do Taquari e podem causar prejuízos diretos e indiretos à população. Vários recursos financeiros que poderiam ser aplicados nas áreas de saúde, educação e segurança, acabam aplicados na recuperação dos danos causados à população e dos municípios atingidos.

No Vale do Taquari existe um plano de prevenção de enchentes (SEPAE - Sistema de Previsão e Alerta de Enchentes) que evita maiores transtornos, mas nada que impeça de alguns locais serem surpreendidos em casos de eventos extremos, como o ocorrido em janeiro de 2010. Neste evento, o nível do rio Forqueta chegou a subir 1,1 metros por hora, atingindo principalmente a bacia hidrográfica do rio Forqueta, com altos índices de precipitação, causando a enxurrada na cidade de Marques de Souza.

A chuva forte que causou o evento da enchente nos dias 3 e 4 de janeiro de 2010, com grande volume de água, variando de acordo com os municípios de Putinga, Fontoura Xavier, Soledade, entre 180 mm e 240 mm, em pequeno intervalo de tempo (12 horas), causou estragos e desabrigou centenas de pessoas em muitos municípios da bacia hidrográfica do Taquari.

Segundo Certel (2014), na Pequena Central Hidrelétrica (PCH) Salto Forqueta, a chuva iniciou na tarde de domingo, dia 03 de janeiro de 2010, se estendendo torrencialmente até a manhã da segunda-feira, 04 de janeiro de 2010. O lago do barramento estava abaixo 80 cm do seu vertedouro na altitude de 206,00 m. Com a precipitação ocorrida, a altitude começou a subir durante a madrugada, chegando ao seu ápice às 17 horas, na altitude 210,60 m., em relação ao nível do mar. Durante toda a madrugada do dia 03/01/10, até a manhã do dia 04/01/10, os grupos geradores da PCH Salto Forqueta permaneceram em carga até às 12 horas, consumindo uma vazão de 22 m³/s.

Considerando a limitada informação sobre a influência de barragens em enchentes da população do Vale do Taquari, propõe-se estudar a influência dos barramentos em eventos extremos. Em janeiro de 2010, quando ocorreu a enchente, houve várias contestações, onde o barramento da PCH Salto Forqueta foi apontado como o principal causador da enxurrada que ocorreu na cidade de Marques de Souza. O estudo é importante, pois de acordo com o inventário ANEEL (Agencia Nacional de Energia Elétrica), existem sete projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas no rio Forqueta. Destes, dois já estão em operação e cinco devem ser implantados nos próximos anos. Este estudo pode ajudar a esclarecer para a comunidade residente na bacia os possíveis efeitos deste tipo de barramento na resposta hidrológica referente a eventos extremos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo estudar a influência do barramento da PCH Salto Forqueta no evento ocorrido em 04 de janeiro de 2010, que causou a inundação parcial da cidade de Marques de Souza. Verificando assim, se o barramento da PCH, contribuiu para a diminuição do tempo de pico da enchente e, conseqüentemente, diminuindo a vazão de pico da inundação.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar a extração dos parâmetros morfométricos necessários para a modelagem hidrológica da bacia hidrográfica do rio Forqueta;
- Modelar o escoamento superficial nas sub-bacias do rio Forqueta;
- Propagar o escoamento superficial por trechos dos rios Fão e Forqueta;
- Avaliar as mudanças no escoamento nos cenários pré e pós-barramento, ressaltando as alterações no tempo, na vazão e na cota de pico da enchente.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Barragens

Segundo o CBDB (Comitê Brasileiro de Grandes Barragens) (2014), as barragens são definidas como barreiras ou estruturas que atravessam córregos, rios ou canais para armazenar, e assim, controlar o fluxo da água. As barragens variam em tamanho, de pequenos maciços de terra, usados frequentemente em fazendas, a enormes estruturas de concreto, geralmente usadas para fornecimento de água, energia hidrelétrica, irrigação e navegação.

Menescal et al. (2005) conceitua barragem como qualquer obstrução em um curso permanente ou temporário de água. As barragens podem ser utilizadas para reter ou acumular substâncias líquidas ou misturas de líquidos e sólidos, onde o reservatório é formado pela acumulação. Também se incluem nesta definição, os muros para a proteção contra enchentes e aterros-barragem de estradas. Conforme Baptista e Lara (2010), as barragens são obras hidráulicas destinadas a represar água, racionalizando o uso dos recursos hídricos. Dessa maneira, as barragens podem ser implantadas para diversos objetivos como geração de energia elétrica, controle de inundações, captação de águas para a irrigação ou abastecimento de água e regulação de níveis para a navegação fluvial e, muitas vezes, para atender a objetivos múltiplos. As barragens são obras mais complexas dentro da engenharia e exige uma maior demanda de profissionais ligados à hidráulica, hidrologia e à área da engenharia civil, voltados à topografia, geotécnica, estruturas, matérias, etc. Independente da utilização da barragem, ela é parte integrante de um aproveitamento hidráulico, correspondendo a um corpo do barramento que é colocado transversalmente ao curso da água, com o objetivo de retenção e armazenamento de água de forma compatível ao empreendimento (CBDB, 2011).

3.1.1 Histórico das barragens

As barragens são utilizadas como fonte confiável de abastecimento de água para o consumo e para as atividades humanas há mais 5.000 anos. Descobertas arqueológicas recentes indicam que barragens simples, de terra, existem desde 2.000 anos a.C., afirmações estas baseadas em investigações de ruínas e observação de estruturas ainda em funcionamento (Comitê Internacional de Grandes Barragens/International Commission On Large Dams) (CIGB/ICOLD, 2008), (Comitê Internacional de Grandes Barragens/*International Commission On Large Dams*).

As barragens permitem que as pessoas armazenem água nos períodos de abundância, para utilizá-la quando houver seca. Elas eram planejadas e construídas especialmente para fins específicos como o abastecimento de água para o consumo humano, irrigação de lavouras, dessedentação e criação animal, bem como o controle de enchentes. No fim do século XIX, surgem outras aplicações para o uso das barragens, geração de energia elétrica e a navegação (CIGB/ICOLD, 2008). Segundo CIGB/ICOLD (2008), o termo barragem tem origem francesa, do século XII, que deriva das palavras *barre*, do francês, e *barra*, do latim vulgar, que significam "travessa, tranca de fechar porta".

No Brasil em 1877, após uma grande seca no nordeste, iniciou-se um plano de combate à seca, com a construção de centenas de barragens, com o intuito de abastecimento e irrigação. A primeira foi concluída em 1906 no município de Cedros, no estado do Ceará. Na região Sul e Sudeste, as primeiras barragens foram direcionadas principalmente para a geração de energia elétrica. No século XIX, começaram a ser construídas as primeiras barragens com pequenas dimensões. Em 1901, entrou em operação no rio Tietê, para suprimento de energia elétrica para a cidade de São Paulo; a usina Parnaíba com potência instalada de 2 MW e altura do barramento de 12 metros, tendo sido construída pela empresa Light, responsável pelo abastecimento de energia elétrica das cidades de Rio de Janeiro e São Paulo (CBDB/ICOLD, 2008).

No Vale do Taquari as primeiras barragens destinaram-se especialmente ao aproveitamento hidroelétrico. Segundo Salecker (2007), as primeiras turbinas fabricadas e instaladas nesta região foram no ano 1923 no arroio da Seca, no município de Estrela/RS.

Entre os anos de 1923 e 1977 foram instalados 117 aproveitamentos na área de geração de energia no Vale do Taquari, totalizando 2.365 kW (SALECKER, 2007). Ferri e Togni (2012) destacam que na bacia hidrográfica do rio Taquari existem três Usinas Hidrelétricas em operação, onze Pequenas Centrais Hidrelétricas e onze Centrais Geradoras Hidrelétricas. Todas estas, com fins de geração de energia, e, uma eclusa com uso exclusivo para a navegação. Entre as usinas em operação destaca-se a PCH Salto Forqueta, localizada no rio Forqueta, e a UHE Castro Alves, localizada no rio das Antas. Destaca-se também no Vale do Taquari, a eclusa localizada em Bom Retiro do Sul, no rio Taquari, que é utilizada para a navegação e os esportes náuticos.

3.1.2 Tipos de barragens

As barragens podem ser construídas de vários materiais: terra, pedra, concreto e madeira. Do ponto de vista funcional são classificadas em galgável, que permitem o transbordamento como as barragens de pedra, concreto e madeiras; e não galgável, que são construídas de terra. Nesse sentido, as barragens normalmente situam-se em locais onde o rio apresenta menor largura. Para isso, deve ser reconhecido o terreno com estudos básicos, antes da realização do projeto (FILHO et al., 2008).

As barragens de gravidade são estruturas de concreto sólido que devem manter a sua estabilidade contra cargas de projeto, da forma geométrica, da massa e da força do concreto. Geralmente, elas são construídas sobre um eixo linear, mas podem ser ligeiramente curvas ou dobradas para acomodar as condições locais específicas. Desse modo, as barragens de gravidade consistem tipicamente de uma seção de descarga e uma seção de estouro, ou vertedouro. Os principais materiais de construção para barragens de gravidade são concretos ciclópico, concreto convencional e/ou concreto compactado por rolo (CCR) (VARSHNEY, 1977).

Os principais tipos de barragem construídas, segundo Filho et al. (2008), são:

- Barragens de terra: muito aplicadas devido ao seu menor curso, porém não indicada para ser construída sobre maciços rochosos, já que o solo e a rocha não possuem uma boa aderência;

- Barragens de pedra enrocamento: são aplicadas onde a fundação não apresenta boas características para a construção da barragem de terra. São construídas com camadas de rochas de 20 cm, e, com acréscimo de terra após as camadas, sendo compactadas por rolos e tratores pesados;
- Barragens de alvenaria: estas podem ser divididas em três grupos: de gravidade, de arco e de contraforte. Na barragem de gravidade, esta depende basicamente do seu próprio peso para sustentar o peso da água. São construídas onde apresentam afloramentos de maciços rochosos. É construída com concreto maciço ou alvenarias. Sua estrutura deve ser dimensionada para que resista aos esforços de tombamento, deslizamento e cisalhamento. Este método foi aplicado para a construção da PCH Salto Forqueta conforme apresentado na Figura 01. As barragens em arco são construídas em concreto armado com uma estrutura convexa voltada à montante do barramento. São difíceis de serem executadas, mas devido à sua estrutura em arco tem grande economia de material. As barragens de contrafortes dependem, para a sua sustentação, de uma série de suportes verticais, chamados de contrafortes. Os contrafortes se estendem ao longo da face à jusante das barragens, isto é, do lado oposto ao fluxo da água. A face à jusante das barragens de contrafortes geralmente se inclina para fora, em cerca de 45 graus. As faces inclinadas e os contrafortes servem para transferir a força da água para baixo, rumo às fundações das barragens. Podem ser construídas de concreto pré-moldado, madeira ou sendo feitas de maciços independentes, sendo recomendada para vales estreitos.

Figura 1 - Barragem da PCH Salto Forqueta



Fonte: Certel (2014, banco de dados da empresa).

3.1.3 Aplicações

As barragens podem ser implantadas com objetivos distintos, por exemplo, abastecimento de água, geração de energia, controle de enchentes e navegação (BAPTISTA e LARA, 2010). Segundo Tucci (2003), a maioria das barragens da América do Sul foram projetadas para a produção de energia, abastecimento de água, irrigação e navegação. A maneira de utilização da barragem acarreta em impactos diferentes, tanto nas vazões, como na construção do empreendimento. No Brasil, existem atualmente mais de 600 grandes barragens e cerca de 300.000 barragens de todos os tipos e tamanhos (MENESCAL, 2005).

Nas barragens com função de controle de enchentes, o reservatório funciona como retenção do volume de água reduzindo o pico do hidrograma e o impacto à jusante do barramento. Existem reservatórios com e sem controle de operação. Nos reservatórios, sem controle de operação, a vazão é regulada pelo vertedor livre. Quando existem comportas, o reservatório tem controle de operação, com isso, a eficiência do controle da enchente tem melhores resultados (TUCCI, 2003).

A operação do reservatório de controle de enchentes deve funcionar de tal forma a regular a vazão até que estas cheguem às cotas limites; a partir desta cota o reservatório deve distribuir as vazões de modo a reduzir ou manter-se nesta cota, não acarretando riscos à população a jusante do barramento (TUCCI, 2003). As principais obras de barragens na área de contenção de enchentes estão situadas na Bacia do Itajaí-Açu, no estado de Santa Catarina, Brasil.

Além disso, as barragens utilizadas para a navegação, mais conhecidas como eclusas ou comportas, são obras da Engenharia Hidráulica que permitem a navegação de barcos e navios por rios e mares. Elas funcionam como degraus que elevam o nível do reservatório quando a embarcação necessita subir o rio. A embarcação entra na eclusa e fica em um reservatório à jusante, que é preenchido com água, elevando a embarcação, para que consiga atingir o nível montante. Para descer, o procedimento é contrário. A embarcação entra na comporta à montante, aguarda o nível baixar até atingir o nível jusante (BAPTISTA E LARA, 2010). No Vale do Taquari existe uma eclusa que foi concluída em 1976, situada no município de Bom Retiro do Sul, que liga principalmente os portos de Estrela, Porto Alegre e Rio Grande (FERRI e TOGNI, 2012).

Obras de barragens destinadas à geração de energia ou Usinas Hidrelétricas, iniciaram no Brasil no Século XIX. Conforme a ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (BRASIL, 2013) existem 1.119 usinas hidrelétricas em operação reguladas pela agência em todo o território nacional, compreendendo desde CGHs, com potência instalada de até 1 MW, PCHs com potência de até 30 MW e, UHE's com potência acima de 30 MW, conforme mostra a Tabela 01.

Tabela 1- Capacidade Instalada de Geração Elétrica - em 31/12/2013

Fonte	Nº Usinas	Potência Instalada (MW)	Estrutura %	Potencia média por usina
Hidrelétrica (*)	1.119	86.019	66,6	77
UHE	195	81.093	62,8	416
PCH	480	4.656	3,6	10
CGH	444	270	0,2	1

Fonte: Adaptada de MME (2013).

3.1.4 Pequenas Centrais Hidrelétricas

A Resolução da ANEEL 394, de 04/12/98, estabelece que as PCH's são Usinas Hidrelétricas que têm potência entre 1 e 30 MW e área inundada até 3,0 km², para a cheia centenária. As Usinas Hidrelétricas (UHE's) são hidrelétricas com potência instalada acima de 30 MW e, as Centrais Geradores Hidrelétricas (CGH's), com potência instalada até de 1 MW. Nestas diretrizes são incluídos os critérios e métodos para dimensionamento, bem como, alguns aspectos sobre os processos de construção de obras civis para usinas implantadas com estas características. Sempre que necessário, será feita referência aos critérios de dimensionamento especificados nas "Instruções para Estudos de Viabilidade de Aproveitamentos Hidrelétricos", da ELETROBRÁS/ANEEL, editado em abril/1997, ou as Diretrizes para Elaboração de Projeto Básico de Usinas Hidrelétricas.

De acordo com ELETROBRÁS (2000), as PCHs podem ser classificadas como Fio D'água, de acumulação, com regularização diária do reservatório, e de acumulação, com regularização mensal do reservatório. Na PCH fio não é realizada a regularização das vazões, a geração ocorre conforme a vazão natural do rio. No projeto de uma PCH Fio D'água, dispensa-se estudos de regularização de vazões, sazonalidade da carga elétrica do consumidor, facilitando os estudos e a construção do empreendimento. Na PCH de Acumulação, com Regularização Diária do Reservatório, o barramento serve para armazenamento da água, gerada nos horários de pico. E a PCH de Acumulação com Regularização Mensal do Reservatório, utilizada para o estudo de vazões mensais, distribui a vazão no rio diariamente, levando em consideração o cálculo das vazões mensais.

Conforme Perius (2012) observa-se que as PCHs são empreendimentos hidrelétricos que causam pequenos impactos ambientais se comparados com as UHEs, e ajudam no desenvolvimento social e econômico da região onde é implantada. A PCH não causa realocação de pessoas, devido ao aproveitamento de quedas naturais e posicionamento em locais pouco explorados, sendo considerada uma fonte de energia renovável e mais limpa, em relação a termoeletricas, gás, diesel, etc. Elas se encaixam perfeitamente na matriz energética do Brasil, fornecendo energia elétrica a lugares e regiões isoladas.

Observando o potencial hidráulico do país, elas podem contribuir substancialmente no desenvolvimento de regiões pouco exploradas e auxiliar no combate de apagões, como o ocorrido em 2001, que deixou vários estados sem energia elétrica.

3.2 Inundações

As inundações são transbordamentos de água provenientes de rios, lagos e açudes, que provocam alagamentos temporários de terrenos, normalmente secos, com volumes de água superior ao habitual, o que pode provocar danos a pessoas e bens. Quando de magnitudes grandes, destroem ou danificam plantações, residências e indústrias, e exigem um grande esforço para garantir o salvamento de animais e pessoas. Esta situação de crise é mais agravada pelos prejuízos que sofrem os serviços essenciais, especialmente os relacionados à distribuição de energia elétrica, ao saneamento básico e à saúde (BALBI, 2008). Segundo Tucci (2000), os problemas com as inundações são muito antigos, pois o homem sempre procurava localizar-se próximo a rios devido as facilidades de transporte, o relevo plano das regiões e a facilidade da utilização da água para consumo e higiene. Desse modo, grande parte das cidades desenvolveram-se próximas às margens dos rios.

Oliveira (2010, p.21) enfatiza que “As enchentes e inundações são eventos que ocorrem naturalmente em todos os ambientes fluviais, são importantes na dinâmica hidrológica e nos processos geomorfológicos”. Nas palavras de Tucci e Braga (2003), as inundações ribeirinhas consistem em um processo natural, resultante de grandes volumes de precipitação, onde a calha normal do rio invade a calha maior. Em muitos casos, o dano à população ocorre devido à falta de conhecimento sobre a ocorrência e níveis de inundação, e, a falta de planejamento do espaço de acordo com o nível de inundações.

Segundo Castro (2000), as enxurradas ou inundações relâmpagos são provocadas por chuvas intensas e concentradas, em regiões com o relevo acidentado. Elas são típicas de bacias ou sub-bacias de médio e pequeno porte, caracterizam-se por elevação súbita e violenta do leito do rio, escoam de forma rápida e intensa e, além de serem dificilmente previstas, em razão da sua rápida ascensão. As enxurradas diferenciam-se das enchentes pela força da água e capacidade de transportar grandes quantidades de sedimentos, fragmentos vegetais e equipamentos do uso antrópico (OLIVEIRA, 2010).

As inundações fazem parte dos desastres naturais que causam perdas e danos de caráter social, econômico e ambiental no Brasil (TOMINAGA, 2009).

Para Tucci et al. (1995), as enchentes urbanas são consequências de dois processos, que se manifestam de forma isolada ou integrada: as enchentes que ocorrem em áreas ribeirinhas, que são naturais e atingem a população que ocupam as margens dos rios; e as ocasionadas em razão da falta de planejamento do uso do solo e a urbanização, que são enchentes provocadas pela formação do espaço urbano. As enchentes urbanas podem ser oriundas de diferentes causas. Alguns processos de urbanização provocam mudanças no microclima das cidades. Os intensos processos de desmatamento, a construção de residências, edifícios, indústrias, ocupação das áreas de várzeas e a impermeabilização do solo com asfalto modificam o meio ambiente e dificultam o escoamento das águas pluviais. Além disso, os sistemas de drenagem ineficientes são incapazes de atender às vazões necessárias, devido ao crescimento populacional e uso irregular dos solos, que minimizam a capacidade de infiltração, conduzindo toda água das chuvas para o sistema de drenagem pluvial urbano e causando inundações.

Segundo Araújo, Tucci e Goldenfum (1999), as ações públicas para as soluções dos problemas de enchente no Brasil estão direcionadas, na maioria das vezes, somente para as medidas estruturais. As soluções geralmente escolhidas pelo Poder Público têm sido as redes de drenagem pluvial urbana, que simplesmente transferem a inundação de um ponto alto para outro à jusante na bacia, sem que se avaliem os reais benefícios da obra. Estas ações de visão local, atuam sobre o efeito e não sobre as causas do aumento da vazão, que é o aumento das superfícies impermeáveis. Conforme Tominaga (2009, p.41), “a magnitude e frequência das inundações ocorrem em função da intensidade e distribuição da precipitação, da taxa de infiltração de água no solo, do grau de saturação do solo e das características morfológicas e morfológicas da bacia de drenagem”.

O Manual de Desastres Naturais do Ministério da Integração Nacional do Brasil classifica as inundações em função da magnitude e de sua evolução temporal (CASTRO, 2003). Quanto à magnitude, as inundações podem ser: excepcionais, de grande magnitude, normais ou regulares e de pequena magnitude. As cheias ao longo dos vales são eventos comuns que se repetem periodicamente, de maior ou menor magnitude. Muitas estruturas são construídas com o intuito de interferir na natureza, no curso das águas.

Algumas delas, como as barragens, exercem papel importante nas estratégias de gestão dos recursos hídricos por possibilitar um melhor aproveitamento dessas cheias sazonais, regularizando as vazões. Além de proporcionar maior segurança para a população, as barragens exercem um impacto positivo no bem-estar dos indivíduos, por permitir a geração de energia, o abastecimento de água, favorecer a agricultura, a navegação e o lazer (CASTRO, 2003).

De acordo com Tominaga (2009, p.46):

A impermeabilização dos solos pelo asfalto impede a infiltração e é responsável pelo aumento da velocidade do escoamento superficial. As retificações, as canalizações e o assoreamento também alteram a dinâmica da vazão dos cursos d'água. Com a eliminação dos meandros (curvas) existentes em alguns cursos d'água, que reduzem gradualmente a velocidade da água, ocorre a concentração do fluxo em pouco tempo, e gera as chamadas “inundações relâmpagos”.

Oliveira (2010) menciona que, a previsão antecipada de eventos extremos e o mapeamento de áreas atingidas por inundações, podem ser considerados como medidas não estruturais. Estas medidas ajudam na amenização dos danos provocados pelas inundações, pois permitem a organização e o crescimento das cidades, através de novas diretrizes de parcelamento e ocupação do solo. Entretanto, devido à escassez e/ou precariedade dos equipamentos necessários para a obtenção destes dados, que em muitas bacias hidrográficas são quase nulos ou insuficientes, estudos mais detalhados são difíceis de serem realizados.

Segundo Eckhardt et al. (2008), em Lajeado/RS, as inundações são fenômenos que ocorrem frequentemente, pois a maioria das cidades brasileiras não teve a ocupação humana planejada no ambiente urbano. A cidade desenvolveu-se ao longo da margem direita do Rio Taquari, onde um dos principais problemas ambientais são as inundações. As perdas econômicas e sociais são resultado de um estudo pouco detalhado a respeito do uso e ocupação dos solos e dos recursos hídricos. Além disso, muitas destas obras são construídas sem que seja levado em consideração um estudo hidrológico, sendo executadas em áreas de risco, preocupando a administração pública e a Defesa Civil (OLIVEIRA, 2010). Essas construções de edificações ribeirinhas ocorrem muito em países subdesenvolvidos, como o Brasil, especialmente em municípios situados em áreas próximas aos rios, que sofrem muitos impactos negativos com as enchentes que trazem, além de prejuízos materiais, doenças e transtorno à população ribeirinha (OLIVEIRA, 2010).

De acordo com Eckhardt et al. (2008, p.25):

No Brasil, dos desastres naturais que ocorrem no país, as inundações ocorrem com maior frequência e causam os maiores prejuízos, sejam materiais ou de vidas humanas. Estas absorvem 1/3 de todos os recursos referentes à realocação humana e para a recuperação de infraestrutura destruída. Constituem-se num dos principais impactos sobre a sociedade.

3.2.1 Enchente de 04 de janeiro de 2010

Conforme Santos (2010), a chuva forte, que precipitou no dia 4 de janeiro de 2010, apresentou grande magnitude e intensidade, variando entre 180 mm e 240 mm nos municípios da região, em um intervalo de tempo de apenas 12 horas. Este evento extremo originou uma rápida inundação do rio Forqueta que causou estragos e desabrigou pessoas em vários municípios da bacia do Taquari-Antas. A cota de pico da cheia do rio Taquari chegou a 23,95 metros, ou seja, 10,95 metros acima do nível normal. Em dado momento, o nível das águas chegou a subir 1,10 metros por hora.

Na cidade de Marques de Souza, as águas do rio Forqueta, afluente do rio Taquari pelo lado direito, subiram rapidamente, não dando tempo para as pessoas retirarem os seus pertences, nem os seus animais. As propriedades situadas próximas às áreas ribeirinhas, baseadas em agricultura e pecuária, bases da economia em Marques de Souza, foram destruídas por completo. Além disso, muitos *campings* tiveram as suas estruturas arrastadas pelas águas. Ao todo, em torno de 100 famílias ficaram desalojadas, muitas delas sendo retiradas pelos telhados de suas residências pelo Corpo de Bombeiros. A enchente causou grandes prejuízos materiais em boa parte da cidade, ocasionando à falta de água e energia elétrica à população. A BR 386, que corta o município de Marques de Souza, ficou submersa por até um metro de água em vários pontos da rodovia (SANTOS, 2010).

Carpinejar (2011) enfatiza que, a enchente que ocorreu em 4 de janeiro de 2010 é considerada a pior da história da cidade, pois causou a inundação de 60% do perímetro urbano, ultrapassando, em estragos e nível de água, a enchente de 1941. Em decorrência disso, os *campings* terminaram aniquilados, 28 residências desapareceram, metade dos animais resistiu em cima dos telhados. Os cemitérios no bairro Tamanduá foram destruídos pela enxurrada, lápides apareceram quebradas, mausoléus navegaram para a estrada, e, ossadas ressurgiram no meio da plantação de trigo.

3.3 Modelos hidrológicos

A modelagem hidrológica é uma importante ferramenta para o auxílio à tomada de decisão em projetos que envolvam recursos hídricos, possibilitando a implementação de técnicas mais eficientes na implantação de projetos e/ou obras hidráulicas. Os modelos podem representar, de forma adequada, enchentes, cotas de inundações e tempo de recorrência, auxiliando na tomada de decisões e no mapeamento de áreas atingidas pela água. As aplicações destes modelos dependem de estudos detalhados de dados hidrológicos (COLLISCHONN, 2001). Conforme detalhado por Tucci (2005), os modelos hidrológicos surgiram devido à necessidade de se obter séries hidrológicas mais longas e representativas de vazões para diferentes projetos na área dos recursos hídricos. Os modelos hidrológicos foram desenvolvidos com o intuito de representar o comportamento de rios, bacias e canais, levando em conta dados observados ou estimados através de variáveis que compõem um modelo.

Os modelos hidrológicos podem ser classificados de acordo com alguns critérios, dentre os quais se destacam (LOU, 2010):

- Conceitual ou empírico: os modelos conceituais são aqueles que possuem funções embasadas nos processos físicos, relacionados com o ciclo hidrológico. Como exemplo, pode-se destacar os modelos de escoamento, conhecidos como modelos hidrodinâmicos, que representam escoamentos superficiais na rede de canais, seu referencial e a calha do rio, e estuda os impactos na escala da bacia hidrográfica. Por sua vez, os modelos empíricos, também conhecidos como "caixa-preta", são aqueles que ajustam as suas funções internas de modo a obter resultados semelhantes aos observados, sem considerar os processos físicos envolvidos no sistema;
- Concentrado ou distribuído: os modelos concentrados não consideram a variabilidade espacial. Geralmente, nestes modelos, a única variável independente é o tempo, utilizando-se de medidas centrais para toda a bacia. Estes modelos são conhecidos como chuva-vazão, que tem como objetivo principal transformar precipitação em vazão, em uma unidade de área específica, normalmente uma bacia hidrográfica (COLLISCHONN, 2001).

Assim, os modelos distribuídos possuem variáveis e parâmetros que dependem do espaço e do tempo, oferecendo maior realismo, porém, necessitando de um volume de informações cada vez maior, conforme aumenta o detalhamento espacial.

Segundo Tucci (2005), um modelo distribuído pode apresentar resultados praticamente iguais aos de um modelo concentrado, no entanto, somente um modelo distribuído permite estudar a variabilidade dos processos ao longo do espaço, em virtude da propagação da onda de cheia.

Lou (2010) também destaca as principais aplicações da modelagem hidrológica:

- Compreender o comportamento dos fenômenos hidrológicos, com modelos detalhados, permitindo ao hidrólogo separar os fenômenos, entender e estudar a sensibilidade das variações para bacias com diferentes características. Além disso, é possível, modelar, testar e avaliar diferentes formulações para os processos;
- Análise da consistência e preenchimento de falhas de dados hidrológicos, devido à facilidade de operação e custo. Através dos modelos, é possível, ajustar os parâmetros e, estender as séries de vazão com base na precipitação. Os modelos são aplicados também para analisar a consistência da curva-chave, os níveis dos rios e as precipitações observadas; além de permitir o estudo e quantificar as alterações no rio e na bacia;
- Previsão de vazão ou da cota para medidas de controle de cheias, operação de obras hidráulicas, navegação, entre outros. Este tipo de estimativa pode ser obtido com base na precipitação conhecida, ou na vazão de um posto de montante ou combinação dos dois fatores. As características da modelagem para esse objetivo são diferentes das demais, no entanto, modelos semelhantes podem ser utilizados, mas com estruturas computacionais diferentes. O modelo de previsão em tempo real deve buscar utilizar ao máximo as informações disponíveis no momento da previsão, atualizando parâmetros ou variáveis;

- Dimensionamento e previsão de cenários de planejamento, em que conhecida a precipitação e o risco de sua ocorrência, é possível estimar a vazão resultante para cenários de uso e modificação da bacia, melhorando o entendimento do comportamento da bacia;
- Efeitos resultantes da modificação do uso do solo, com a análise do escoamento resultante destas alterações é um problema complexo, que requer uma metodologia mais sofisticada que as utilizadas nas aplicações anteriores. Os modelos existentes para modificações do solo são, em sua maioria, conceituais, possuem muitas formulações empíricas para representar os processos e, em seguida, os parâmetros acabam se relacionando mais qualitativamente do que quantitativamente com a característica física da bacia. Entretanto, mesmo com estas informações é difícil analisar as características da bacia, pois o desmatamento e a urbanização que crescem de forma acentuada prejudicando a modelagem correta.

A previsão de vazão é utilizada para minimizarmos as incertezas sobre o clima e o gerenciamento de recursos hídricos. Essa previsão geralmente é realizada em eventos de cheia, e depende muito do tamanho e das características da bacia (TUCCI e BRAGA, 2003). A correta utilização de diversos modelos hidrológicos específicos do tipo chuva-vazão depende da estrutura e dos parâmetros adotados na modelagem. A modelagem deve respeitar e representar de forma adequada os processos e características da bacia em estudo por completo no ciclo hidrológico, respeitando a finalidade e representação correta dos processos, junto aos componentes do ciclo hidrológico e características físicas desta bacia (LOU, 2010).

No estudo desenvolvido por Lou (2010) são citados e definidos vários modelos. Dentre eles, pode-se destacar o IPHS1. Este *software* foi desenvolvido pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul e pela Universidade Federal de Pelotas, consiste em um sistema computacional que utiliza a Metodologia de Modelagem Orientada a Objetos aplicada a Sistemas de Recursos Hídricos, apresentado por Viegas Filho (2000). Neste *software*, estão disponíveis algumas opções de modelos chuva-vazão e de escoamento, como o SCS e o *Muskingum-Cunge*.

Outro modelo relevante a nível nacional é o apresentado por Collischonn (2001), que desenvolveu o Modelo de Grandes Bacias (MGB-IPH), baseado em LARSIM.

Neste desenvolvimento foram feitas simplificações nos modelos de balanço da água no solo, e no módulo de evapotranspiração, além de ser incluído o de propagação de vazões de canais de *Muskingum-Cunge*.

3.3.1 Modelo Muskingum-Cunge

O Método *Muskingum* é um modelo hidrológico comumente utilizado para quantificar a relação descarga-armazenamento em um determinado canal. Nele, o volume armazenado de escoamento no canal de um rio é determinado pela combinação da cunha e do prisma de armazenamento. Durante o avanço de uma onda de cheia, a vazão de entrada excede a vazão de saída, resultando em um balanço negativo. Além disso, ocorre um prisma de armazenamento, o qual é formado por um volume de seção transversal constante, no decorrer do comprimento do canal prismático (VEN TECHOW, 1987). O método de *Muskingum* foi desenvolvido por McCarthy em 1938, por meio de estudos de controle de cheias na bacia do rio *Muskingum* nos Estados Unidos. Consistindo na utilização da equação da continuidade e de relações entre o armazenamento, e, as vazões de entrada e de saída. O Método de *Muskingum-Cunge* tem como objetivo estimar a propagação de cheias em rios e canais.

O Método de *Muskingum-Cunge* utiliza o coeficiente de rugosidade de *Manning* para a simulação. Este valor é determinado conforme as características do leito e das margens do rio, mas como o mesmo é pouco sensível a este parâmetro pode ter um valor fixo para toda a bacia. Ainda, é muito importante conhecer as características morfológicas e de uso do solo da bacia para determinar cada parâmetro do modelo (COLLISHONN, 2001).

A maneira correta de calcular a propagação da onda de cheia seria através do uso das equações gerais de *Saint-Venant* descrita nas Equações 01 e 02. A Equação 01 representa a continuidade, baseada na conservação da massa. Já a Equação 02, é conhecida como a Equação da Quantidade de Movimento, considerando as forças de inércia, pressão, gravidade e atrito. O método de *Muskingum-Cunge* simplifica a segunda equação, consistindo em um modelo hidrológico semiconceitual. Porém, é muito utilizado no mundo devido seus bons resultados na simulação, na propagação de onda de cheias, mesmo fazendo uso de poucos parâmetros de entrada.

Equação 1 – Equação da Continuidade

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (1)$$

Onde: **A** é área da seção transversal; **Q** é a vazão; **T** é o intervalo de tempo; **X** é o comprimento do trecho e **Q** é a vazão de contribuição lateral.

Equação 2 – Equação da Quantidade de Movimento

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (Q^2/A)}{\partial x} + gAS_0 - gAS_f \quad (2)$$

Onde: **g** é a aceleração da gravidade; **S₀** é a declividade do trecho; **S_f** é a declividade da linha de atrito.

Segundo Tucci (2005), o Método de *Muskingum-Cunge* baseia-se na equação da continuidade e de relações entre o armazenamento e as vazões de entrada e saída, bem como leva em consideração a calha de armazenamento e declividade dos rios. O volume de escoamento do canal do rio é calculado durante o avanço da onda de cheia, na qual a vazão de entrada excede a vazão de saída e o canal é considerado de forma prismática em que o volume da seção transversal é constante.

O método *Muskingum-Cunge* oferece duas vantagens sobre os métodos de estudos cinemáticos das ondas. Primeiramente, a solução é obtida através de uma equação algébrica linear, ao invés de diferenças finitas ou aproximação por equações diferenciais; isto permite obter o hidrograma para uma determinada seção transversal, ao contrário do método cinemático, o qual exige um estudo detalhado do comprimento total do talvegue do rio. Ainda, a solução utilizando-se o método linear, tende a resultar em uma onda menos atenuada, possibilitando maior flexibilidade na escolha da razão de tempo e espaço para incrementos, diferentemente do método cinemático (VEN TECHOW, 1987).

3.3.2 Modelo Soil Conservation Service (SCS)

O modelo da SCS é um dos métodos mais simples e mais aplicados para estimar os volumes de escoamento superficial resultante das precipitações.

O modelo SCS é muito utilizado para simulação de hidrogramas de cheias em projetos de obras hidráulicas, além de ajudar a estimar cotas de riscos de enchentes. Como dados de entrada são necessários dados de precipitação, informações físicas e morfométricas da bacia e o coeficiente de infiltração relacionado à curva número (CN) (TUCCI, 2005).

São exemplos de trabalhos que utilizaram o método SCS: Moraes et al. (2012), que tinha como objetivo a verificação da interferência do uso da terra nas inundações urbanas; Moruzzi et al. (2009), que recorreu ao método SCS para avaliação de escoamento superficial em área de expansão urbana e Damé et al. (2010), que comparou hidrogramas de projeto resultantes dos hietogramas estimados pelas relações Intensidade-Duração-Frequência (IDF).

O método do SCS permite calcular os volumes infiltrados, e com este dado, podemos estimar a precipitação efetiva que dá origem ao hidrograma de cheia. Segundo o método do SCS de 1975, o parâmetro que resulta na forma do hidrograma unitário triangular é o tempo de concentração da bacia. O modelo SCS realiza a transformação da chuva em vazão na saída das sub-bacias, com base em uma equação empírica que calcula as perdas por evapotranspiração e por infiltração, utilizando um parâmetro (CN) definido pelo cruzamento entre o uso e cobertura do solo e os tipos de solo (Equações 3 e 4). A propagação superficial do volume gerado pela separação do escoamento é realizada através de um hidrograma unitário sintético triangular. As Equações 5 e 6 determinam a vazão máxima e o tempo de pico.

Equação 3 – Equação do Escomanto Superficial Acumulado

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P + S - I_a} \quad (3)$$

Equação 4 – Equação da infiltração

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (4)$$

Equação 5 - Equação da vazão máxima

$$q = \frac{2,08.A}{\frac{D}{2} + t_p} \quad (5)$$

Equação 6 – Equação do tempo de pico

$$t_p = \frac{2,06.L^3.(\frac{S}{25,4}+1)^{0,7}}{1900.Y^{0,5}} \quad (6)$$

Onde: **Q** é o volume superficial acumulado em m³/s; **P** é a precipitação total acumulada em mm; **I_a**, são as perdas iniciais, estimado em 0,2S; **S** é o armazenamento do solo; **q** é a vazão máxima em m³/s; **A** é a área de drenagem em km²; **D** é o intervalo de tempo em horas; **t_p** é o tempo de pico em horas; **L** é o comprimento hidráulico em m; e **Y** é a declividade em porcentagem.

4 METODOLOGIA

4.1 Descrição da área de estudo

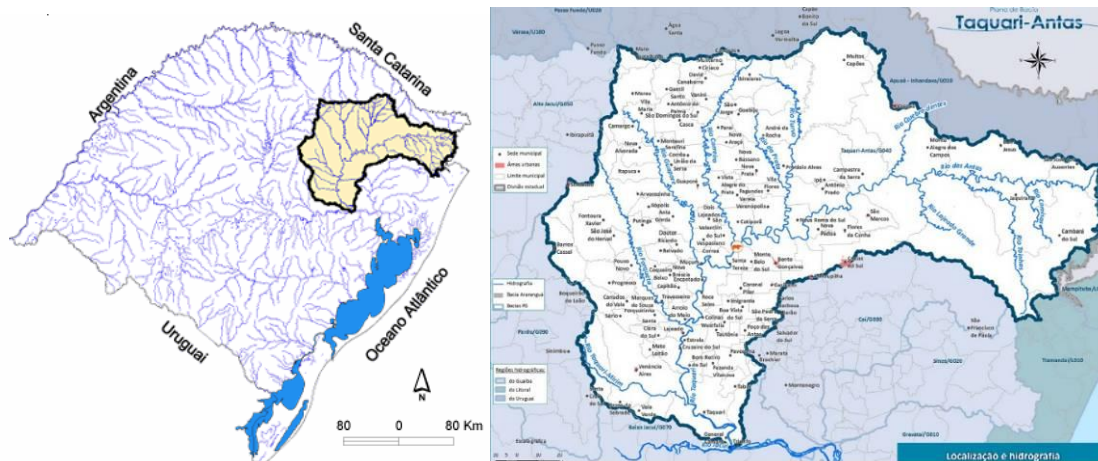
A área de estudo deste trabalho é a bacia do rio Forqueta, integrante da bacia hidrográfica dos rios Taquari-Antas conforme apresentado na figura 2, situada no nordeste do estado do Rio Grande do Sul. A bacia do rio Forqueta compreende os municípios de Soledade, Arvorezinha, Itapuca, Fontoura Xavier, Putinga, São José do Herval, Pouso Novo, Marques de Souza, Arroio do Meio, Travesseiro e Lajeado. A figura apresenta a bacia do rio Forqueta que se encontra inserida entre as latitudes 29°30' e 28°49' S e as longitudes 52°00' e 52°45'. O rio Forqueta apresenta-se em um vale cheio de montanhas, alternando poços e corredeiras, eventualmente intercalados por saltos de pequeno porte, tendo sua foz no rio Taquari entre os municípios de Lajeado e Arroio do Meio, com uma área total de 2.692 km² (FERRI e TOGNI, 2012).

A bacia Taquari-Antas ocupa uma área de 26.428 km², correspondendo a 9% do território do estado do Rio Grande do Sul. Esta bacia faz parte da Região Hidrográfica do Guaíba, sendo o rio Taquari-Antas o principal afluente do rio Jacuí, que é o maior formador do Lago Guaíba (COMITÊ TAQUARI ANTAS, 2014, texto digital).

De acordo com a Classificação Internacional de Köppen, o clima do Vale do Taquari está enquadrado dentro da zona fundamental temperada úmida (Cf), subdividida em duas variedades: Cfa (subtropical) na parte mais baixa da bacia e Cfb (temperado) atuando sobre a região localizada no extremo norte da bacia, nos municípios de Arvorezinha, Ilópolis e Putinga.

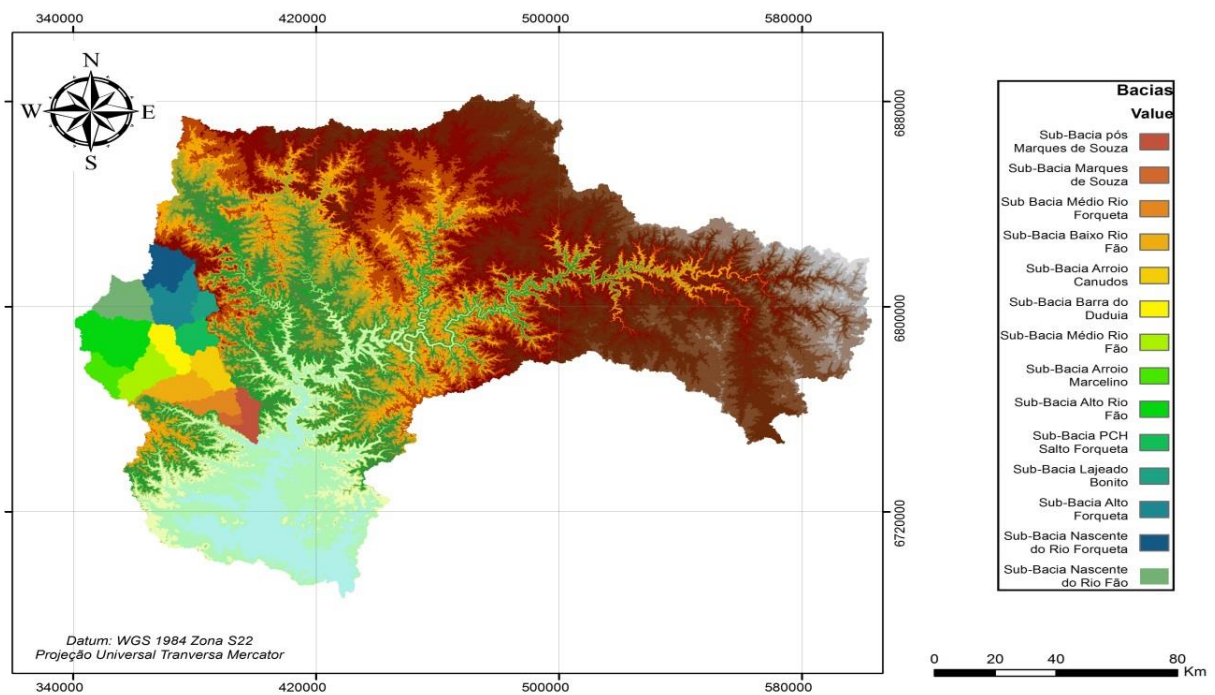
A média anual da precipitação pluviométrica do Vale do Taquari é de 1600 mm. Embora as chuvas sejam bem distribuídas durante todos os meses do ano, ocorrem com maior intensidade nos meses de inverno. A média anual da temperatura é 18,7°C e a média anual da umidade relativa do ar é 76%. (FEPAM, 2014, texto digital).

Figura 2 - Localização da bacia hidrográfica Taquari Antas



Fonte: Adaptado de FEPAM (2014).

Figura 3 – Mapa com localização da bacia hidrográficas do rio Forqueta e Fão e divisão das sub-bacias.



Fonte: Do autor

O rio Forqueta, para fins de geração de energia elétrica, começou a ser estudado no início da década atual a pedido da Prefeitura Municipal de Putinga/RS.

Outro estudo importante foi realizado pelo convênio CEEE/IPH/UFRGS, no qual as regionalizações das vazões para vários postos fluviométricos do RS e parte de SC foram as fontes. Nesta pesquisa, está inserida a regionalização das vazões da estação Passo do Coimbra, localizadas no Rio Forqueta, que possui uma área de drenagem bastante próxima da PCH Salto Forqueta. Em 1998, a empresa CERTEL fez um levantamento do potencial hidrelétrico do rio Forqueta, que culminou na escolha desse aproveitamento. O registro do estudo foi emitido pela ANEEL em dezembro de 1998. A PCH entrou em funcionamento em 06 de dezembro de 2002 e continua gerando energia para a região do Vale do Taquari.

O empreendimento da PCH Salto Forqueta (Figura 04), objeto deste estudo, localiza-se no Estado do Rio Grande do Sul, no curso do rio Forqueta, entre os municípios de Putinga (margem esquerda do rio) e São José do Herval (margem direita). A cidade mais próxima é São José do Herval, situada a cerca de 10 km, em direção noroeste do empreendimento. A área pode ser acessada a partir do município de Canoas, na região metropolitana de Porto Alegre, onde se tem acesso pela rodovia BR-386. A 8,5 km de Pouso Novo existe uma localidade chamada Picada Taquari, a leste da BR-386. Através desta estrada vicinal, pela qual se segue cerca de 10 km, chega-se ao local do empreendimento (CERTEL, 2014).

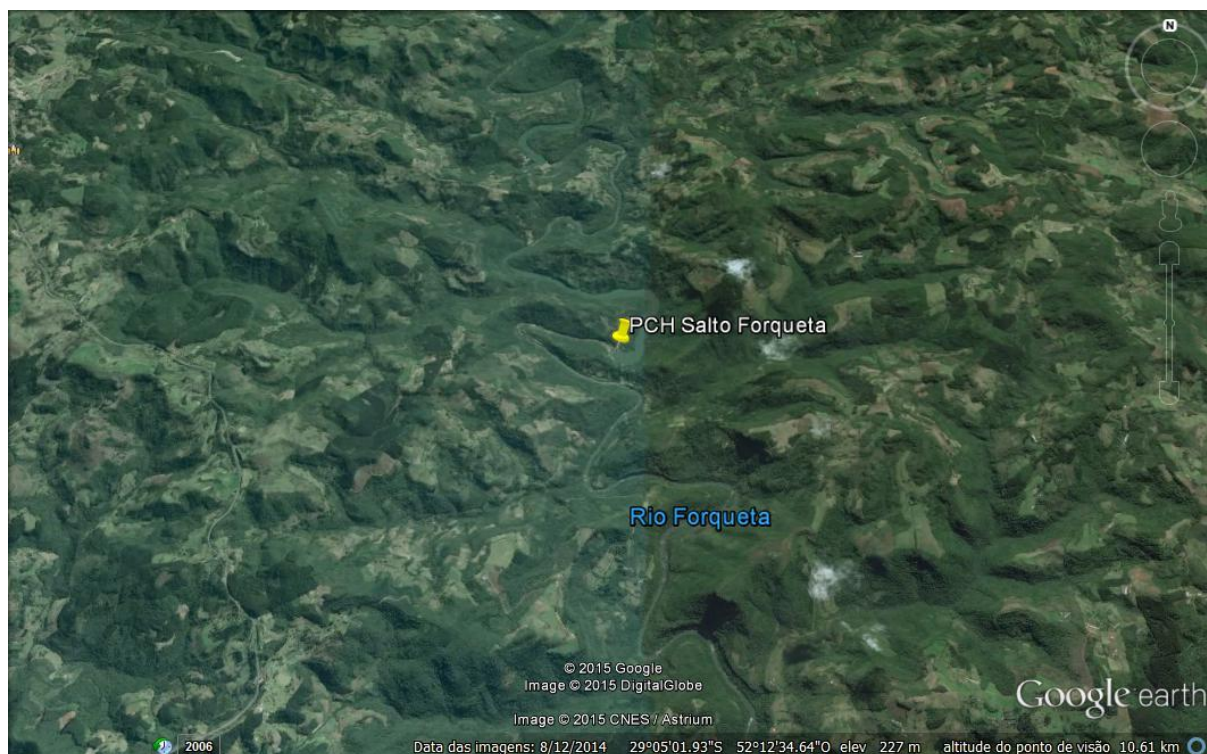
Figura 4 - PCH Salto Forqueta



Fonte: Certel (2014, banco de dados da empresa).

O local de implantação pertence à grande bacia hidrográfica Taquari-Antas, e situa-se aproximadamente 45 km a montante da confluência entre o rio Forqueta e o rio Taquari. As coordenadas geográficas específicas do eixo do barramento são 29°04'S de latitude e 52°12'W de longitude conforme apresentado na Figura 05 (CERTEL, 2014).

Figura 5 – Localização da PCH Salto Forqueta



Fonte: Adaptador de Google Earth.

O barramento da PCH Salto Forqueta é do tipo gravidade, retilínea, com vertedor do tipo soleira livre em perfil *creager*, foi construída em pedras argamassadas e concreto ciclópico. O vertedouro, com 95 m de comprimento total, foi dimensionado para escoar a cheia de 1.802,10 m³/s correspondente ao tempo de recorrência de 1.000 anos (em “*ultimate capacity*”, o vertedouro poderá administrar a vazão máxima de 2.188,137 m³/s). A jusante do vertedouro está instalada em um dissipador de energia do tipo bacia com ressalto hidráulico, para dissipar a energia cinética representada pela velocidade do fluxo da água (CERTEL, 2014).

4.2 Materiais e Métodos

Este trabalho compreendeu a extração de parâmetros físicos da bacia do rio Forqueta, seguida de uma modelagem hidrológica, envolvendo os processos de transformação da chuva em vazão e de propagação da onda de cheia, para a verificação das vazões atingidas na cidade de Marques de Souza.

No estudo executado foram utilizados os dados de projeto da PCH Salto Forqueta, sua relação cota-volume e, volume de água armazenado na barragem no início da precipitação. Com o estudo, foram avaliados dois cenários (com e sem barragem), onde realizou-se a simulação, analisando as chuvas ocorridas nos dias 03, 04 e 05 de janeiro de 2010. Os dados de precipitação utilizados no estudo foram obtidos através do site do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). No estudo foram consideradas as chuvas ocorridas em todas as estações mais próximas da bacia do rio Forqueta. Assim, aplicou-se um método de simulação para chegar ao valor da enchente real, pois segundo os dados de projetos e a altitude do vertedouro no dia é possível estimar a maior vazão que passava pelo vertedouro da PCH Salto Forqueta, sendo que esta chegou a sua cota ápice às 17h do dia 04 de janeiro, com 210,60 m.

Na simulação foi utilizado o *software* IPHS1. Este *software* apresenta resultados satisfatórios, quando utilizados em bacias com características parecidas com a Bacia do Rio Forqueta. O IPHS1 possui dois módulos: um para bacias e outro para rios.

No módulo de simulação em bacias, recorre-se aos dados de precipitação e atributos da bacia para transformar a chuva em vazão; no módulo de rios, faz-se uso dos aspectos da calha e da planície de inundação do rio para propagar a onda de cheia, tornando o modelo hidrológico do tipo distribuído.

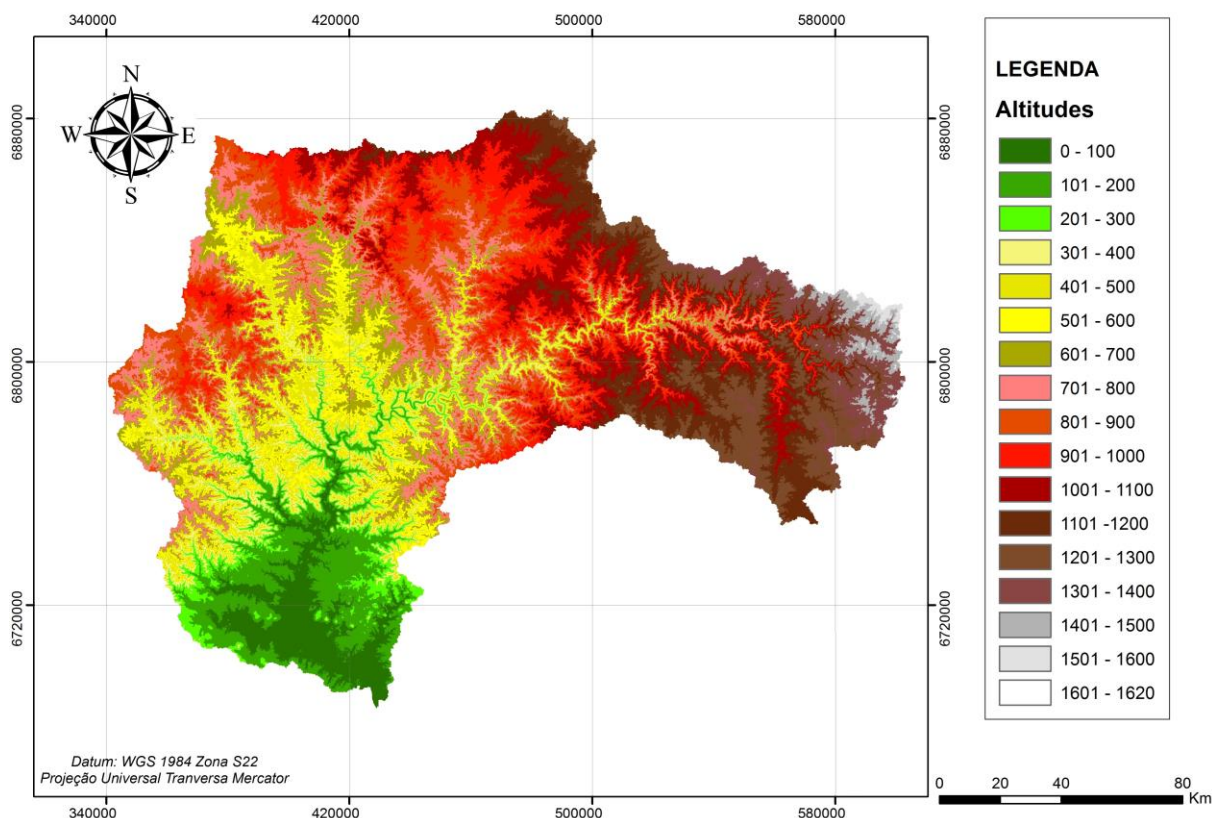
O trabalho está subdividido em três etapas: a primeira, extração de variáveis morfométricas e cálculo de parâmetros para a modelagem hidrológica; a segunda, simulação hidrológica de eventos extremos com as precipitações oriundas no dia, através da conjugação de dois modelos hidrológicos, um modelo de chuva-vazão, da *Soil Conservation Service* (SCS, 1975), nas sub-bacias que compõem a área de abrangência, e um modelo de propagação da onda de cheia, *Muskingum-Cunge*, aplicado nos principais rios; e a terceira, uma análise dos resultados obtidos, de modo a apresentar uma conclusão sobre o efeito do barramento na enchente.

4.2.1 Extração de parâmetros para modelagem hidrológica

A primeira etapa compreendeu a escolha da representação mais adequada para a bacia hidrográfica do rio Forqueta e seus afluentes para a modelagem hidrológica. Na representação foram utilizados como referência os dados altimétricos obtidos pela missão *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM); modelo digital de elevação com resolução espacial de 90 metros, obtidos pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), disponibilizados no Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA) e interpolados para uma resolução espacial de 30 metros (VALERIANO, 2005; 2008).

Primeiramente foi feito o download da imagem do modelo digital de elevação de satélite SRTM TOPODATA no site da INPE no endereço: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>. As cartas corresponderam à bacia Taquari-Antas onde está localizada a área de estudo apresentada na figura 5. O arquivo foi baixado com projeção/Datum arbitrária, sem referência espacial. Foi definida a projeção para o Sistema de coordenadas geográficas, WGS 1984 (GCS_WGS1984).

Figura 6 – Mapa da Bacia Taquari-Antas com as altitudes



Fonte: Do autor

Após definida a projeção do SRTM, iniciou-se a extração das bacias, trabalhando com software ArcGIS. Através da ferramenta *Fill* (preencher), foram preenchidas as falhas do modelo, removendo os picos e corrigindo as depressões que poderiam gerar incoerências durante a obtenção dos parâmetros. Utilizando o arquivo obtido através do *Fill*, aplica-se a ferramenta *Flow direction* (Direção do Fluxo) que realiza a organização dos pixels, fazendo-os desaguar nos pixels vizinhos e de menor declividade. Em seguida, utilizando como entrada a imagem de direção de fluxo, usa-se a ferramenta *Flow accumulation* que acumula os pixels, gerando uma imagem de drenagem acumulada, a qual define a localização das principais drenagens da bacia.

Utilizando como entrada o arquivo *Flow accumulation* foi feita a marcação da foz da área através da ferramenta *Snap pour point* que realiza a indicação da bacia a ser extraída pela foz demarcada conforme a figura 06, com o intuito de estudá-la. Com isso, podemos utilizar a ferramenta *Watershed*, que realiza a extração da bacia hidrográfica através do seu divisor de águas, pela direção de fluxo.

Os três primeiros parâmetros: área (A); desnível altimétrico (H); e comprimento do rio principal (L), foram obtidos a partir de informações morfométricas extraídas a partir dos dados SRTM-TOPODATA. O desnível altimétrico e o comprimento do rio principal foram utilizados no cálculo do tempo de concentração.

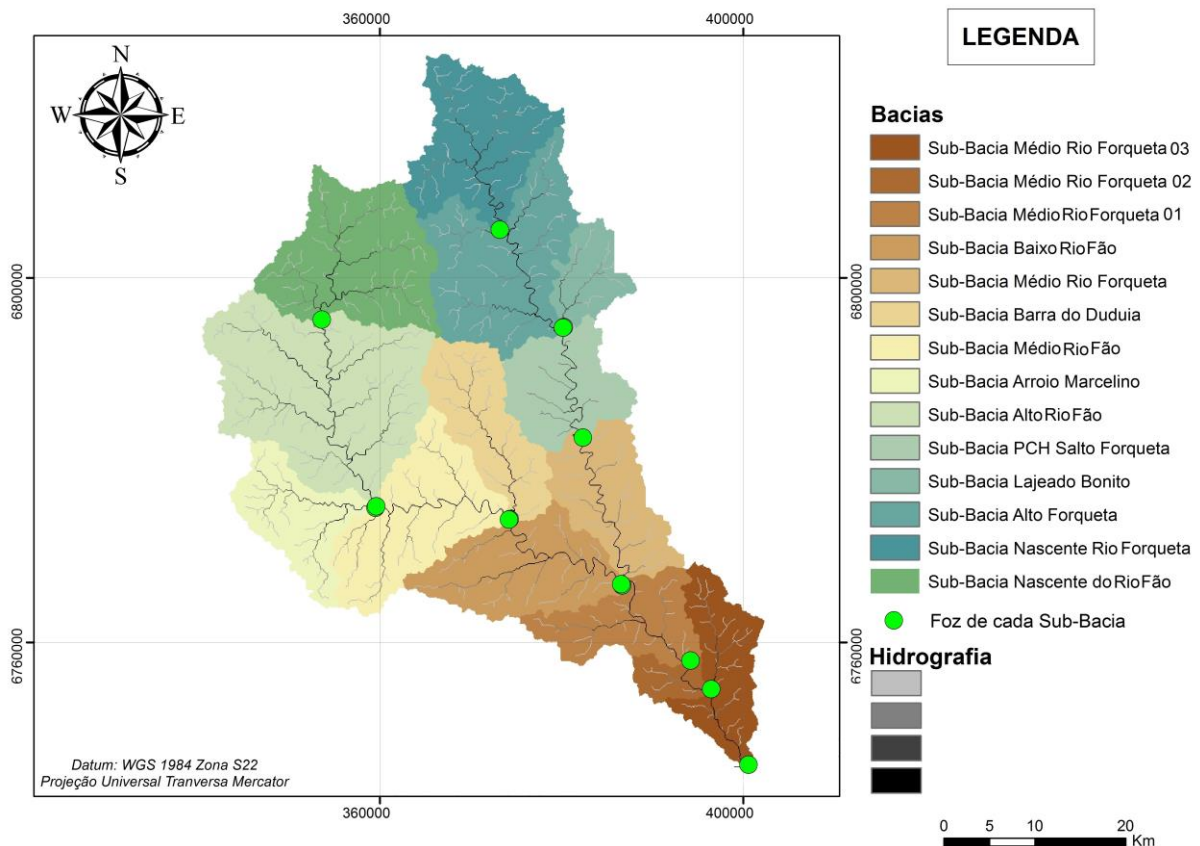
Para estimar esse parâmetro (Equação 7), foi utilizado o método de Kirpich (KIRPICH, 1940), que necessita de apenas dois parâmetros de entrada, facilmente extraídos a partir de dados altimétricos, sendo desenvolvida para bacias de pequeno e médio porte.

Equação 7 - Equação do tempo de concentração

$$tc = 57 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (7)$$

Onde: tc é o tempo de concentração em minutos; L é o comprimento do rio principal em km; e H é o desnível altimétrico em metros.

Figura 7 - Mapa da divisão das bacias e marcação da foz de cada bacia



Fonte: Do autor

4.2.1.1 Área (A)

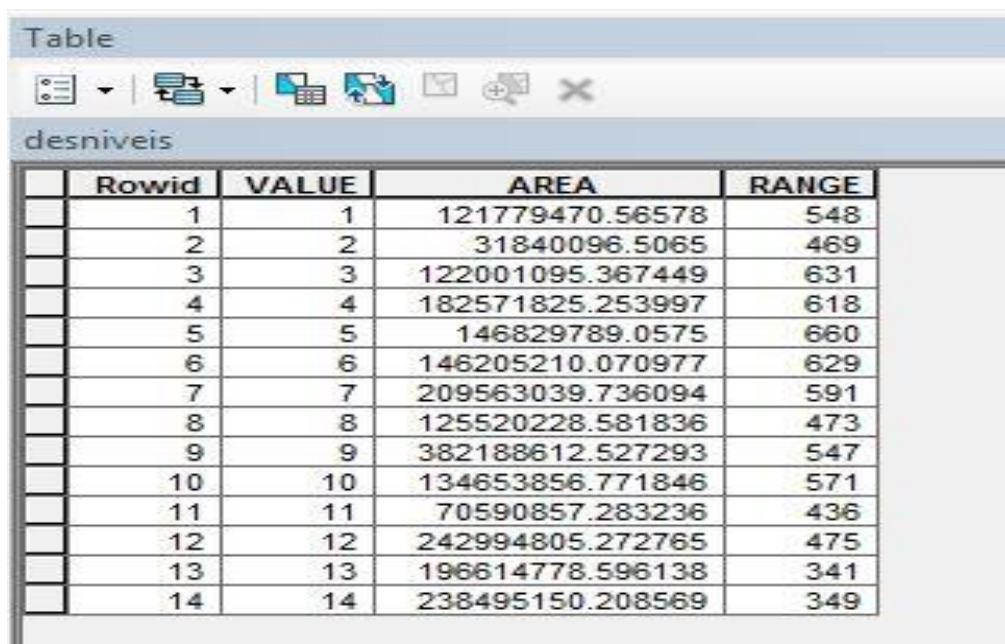
A área das sub-bacias foi extraída através de ferramentas de geoprocessamento do software do ArcGIS 10.2, após a definição das áreas de drenagens e divisores de água dos trechos rio principais apresentados na Figura 07.

Nas sub-bacias do Médio Rio Fão, Alto Rio Fão, Alto Rio Forqueta e Nascente do Rio Fão foi estabelecida uma área maior, correspondente a 200 km² em função dos seus afluentes principais. As sub-bacias Nascente Rio Forqueta, Médio Rio Forqueta 01, Baixo Rio Fão, Médio Rio Forqueta, Arroio Marcelino, Barra do Duduia, PCH Salto Forqueta, Médio Rio Fão e Médio Forqueta 03 através de seus afluentes, estabeleceu-se uma área maior que 100 Km² e menor que 200 Km², e, as sub-bacias Médio Forqueta 02 e Lajeado Bonito, ficaram com uma área menor, de 100 km², conforme apresentado na tabela 02 e figura 06, trabalhadas no ArcGIS.

4.2.1.2 Desnível altimétrico (H)

A obtenção do desnível altimétrico entre as cotas jusante e montante foi extraída através do MDE já geoprocessado. O desnível altimétrico é apresentado na tabela de atributos, processada no ArcGIS, junto às áreas de cada bacia, conforme apresentado na Figura 08.

Figura 8 - Tabela de atributos do ArcGIS com área e desnível altimétrico (*RANGE*).



Rowid	VALUE	AREA	RANGE
1	1	121779470.56578	548
2	2	31840096.5065	469
3	3	122001095.367449	631
4	4	182571825.253997	618
5	5	146829789.0575	660
6	6	146205210.070977	629
7	7	209563039.736094	591
8	8	125520228.581836	473
9	9	382188612.527293	547
10	10	134653856.771846	571
11	11	70590857.283236	436
12	12	242994805.272765	475
13	13	196614778.596138	341
14	14	238495150.208569	349

Fonte: Do autor (2015)

4.2.1.3 Comprimento do rio principal (L)

O comprimento do rio principal foi obtido através da ferramenta *Flow Length*, no ArcGIS. Com a marcação dos exutórios (foz das bacias), foi extraído o comprimento de cada rio nestes pontos, sempre diminuindo o comprimento do trecho anterior, pois os valores são acumulados, das nascentes em direção à foz. Os valores do comprimento de cada trecho de rio são apresentados na tabela 02, mostrando os trechos de rio e seus respectivos comprimentos. A tabela apresenta ainda os valores do desnível altimétrico e, comprimento do rio principal em cada trecho, além das áreas de cada sub-bacia da área de estudo.

Tabela 2 - Tabela de dados obtidos através do geoprocessamento da imagem MDE de satélite

Sub-Bacias	Comprimento do rio		Desnível Altimétrico (m)
	Principal (m)	Área (Km ²)	
Médio Rio Forqueta 01	11421,2	121,78	548
Médio Rio Forqueta 02	6543,2	31,84	469
Médio Rio Forqueta 03	15511,0	122,00	631
Baixo Rio Fão	26548,5	182,57	618
Médio Rio Forqueta	29320,8	146,83	660
Barra do Duduia	28277,0	146,21	629
Médio Rio Fão	24281,6	209,57	591
Arrio Marcelino	23212,5	125,52	473
Alto Rio Fão	31394,2	382,19	547
PCH Salto Forqueta	22678,7	134,66	571
Lajeado Bonito	16426,0	70,59	436
Alto Rio Forqueta	21539,3	243,00	475
Nascente Rio Forqueta	30570,2	196,62	341
Nascente do Rio Fão	25674,5	238,50	349

Fonte: Do autor

4.2.1.4 Curva Número (CN)

O cálculo do CN resultou em um coeficiente que varia de 1 a 100, desde coberturas altamente permeáveis até coberturas totalmente impermeáveis. Tais valores foram tabelados por SCS (1975). Além da publicação original, tabelas traduzidas com valores de CN para áreas urbanas ou áreas agrícolas podem ser encontradas em Tucci (1998; 2004; 2007), como mostram os quadros 01 e 02.

Este índice é fundamental no modelo, pois define o armazenamento de água no solo (TUCCI, 1998), influenciando diretamente nas perdas iniciais por infiltração, o que resulta na precipitação efetiva, e esta, gera o escoamento superficial.

Conforme preconizado por Tucci et al. (1995), no método são considerados quatro grupos hidrológicos de solos:

- Solos A – solos arenosos profundos e com baixo teor de silte e argila total. São solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração;
- Solos B – solos menos permeáveis que o anterior, são arenosos e com maior teor de argila total, menos profundos que os solos A, e com permeabilidade superior à média;
- Solos C – solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração média, contendo percentagem considerável de argila;
- Solos D – solos bem argilosos, com 30% a 40% de argila total, com baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.

O último parâmetro extraído para as bacias, o CN, foi obtido através do cruzamento entre o uso e ocupação do solo, e, o tipo de solo, ambos obtidos a partir das cartas na escala 1:250.000, elaboradas pelo IBGE.

Os cruzamentos foram obtidos através dos tipos de cobertura do solo para bacias rurais (Quadro 01), como plantações regulares em fileira retas, considerando áreas cultivadas, plantações de cereais em fileiras retas áreas cultivadas e campos permanentes normais. As bacias urbanas foram consideradas zonas residenciais com lotes menores de 500 m² (Quadro 02).

Quadro 1 - Tabela do CN para bacias rurais

Uso do solo	Superfície do solo	Grupo do Solo			
		A	B	C	D
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações regulares	Em curvas de nível	67	77	83	87
	Terraceado em nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações de cereais	Em curvas de nível	62	74	82	85
	Terraceado em nível	60	71	79	82
	Em fileiras retas	62	75	83	87
Plantações de legumes ou cultivados	Em curvas de nível	60	72	81	84
	Terraceado em nível	57	70	78	89
	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	94
	Boas	39	61	74	80
Pastagens	Pobres, em curvas de nível	47	67	81	88
	Normais, em curvas de nível	25	59	75	83
	Boas, em curva de nível	6	35	70	79
Campos permanentes	Normais	30	58	71	78
	Esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normais	36	60	73	79
	Densas, de alta transpiração	25	55	70	77
Chácaras Estradas de terra	Normais	56	75	86	91
	Más	72	82	87	89
	De superfície dura	74	84	90	92
Florestas	Muito esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84
	Densas, alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76

Fonte: Adaptado de Tucci (1998; 2004; 2007).

Quadro 2 - Tabela do CN para bacias Urbanas

Utilização ou cobertura do solo	Grupo de solos			
	A	B	C	D
Zonas cultivadas: sem conservação do solo	72	81	88	91
com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos em más condições	68	79	86	89
Baldios em boas condições	39	61	74	80
Prado em boas condições	30	58	71	78
Bosques ou zonas com cobertura ruim	45	66	77	83
Floresta: cobertura boa	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios, boas condições				
Com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
Com relva de 50% a 75% da área	49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios	89	92	94	95
Zonas industriais	81	88	91	93
Zonas residenciais				
Lotes de (m ²)	% média impermeável			
<500	65	77	85	90
1000	38	61	75	83
1300	30	57	72	81
2000	25	54	70	80
4000	20	51	68	79
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.	98	98	98	98
Arruamentos e estradas				
Asfaltadas e com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
Paralelepípedos	76	85	89	91
Terra	72	82	87	89

Fonte: Adaptado de Tucci (1998; 2004; 2007).

Após a definição do uso do solo foi definido o grupo do solo, valores conforme do Quadro 01 e Quadro 02. Foram utilizados os grupos de solo B e C, e com eles, realizado a média para cada grupo chegando aos valores de CN, apresentados na tabela 03.

Tabela 3 - CN obtido em função do cruzamento dos grupos de solo B e C

Tipo de cobertura	Urbano	Floresta	Plantação	Campos
CN	87,5	65	79,5	65,5

Fonte: Autor

Após, foi realizado o cruzamento das áreas de cada tipo de CN em todas sub-bacias, para obtenção do percentual de cada CN, para cada um dos tipos de cobertura de solo encontrados em cada sub-bacia. Em seguida, a partir da área da sub-bacia e a área de cada tipo de cobertura de solo, foi gerado um percentual do valor de cada cobertura de solo. Este valor, de CN da tabela 03, foi multiplicado pelo percentual de área em que a cobertura de solo influencia na sub-bacia, assim gerando um CN médio para cada bacia, em função da área de influência dos tipos de cobertura de solo, conforme apresentado na tabela 04.

Tabela 4: CN médio para cada bacia

Sub-Bacias	CN médio
Médio Forqueta 03	69,9
Médio Forqueta 02	75,9
Médio Rio Forqueta 01	68,0
Baixo Rio Fão	68,0
Arroio Canudos	68,2
Médio Rio Forqueta	65,8
Médio Rio Fão	66,1
Arrio Marcelino	69,1
Alto Rio Fão	66,1
PCH Salto Forqueta	66,1
Lajeado Bonito	67,4
Alto Rio Forqueta	66,5
Nascente Rio Forqueta	65,5
Nascente do Rio Fão	66,0

Fonte: Do autor

4.2.1.5 Obtenção dos parâmetros do modelo de *Muskingum-Cunge*

A partir do módulo dos segmentos de drenagem foram obtidos os seguintes parâmetros, correspondente ao modelo *Muskingum-Cunge*: extensão do canal/rio (EXT); cota do canal à montante (CtM); cota do canal à jusante (CtJ); profundidade do canal (Z); largura média do canal (B); coeficiente de rugosidade de *Manning* (n); altura da planície de inundação (Z1); largura média da planície de inundação (B1); e, coeficiente de rugosidade da planície de inundação (n1).

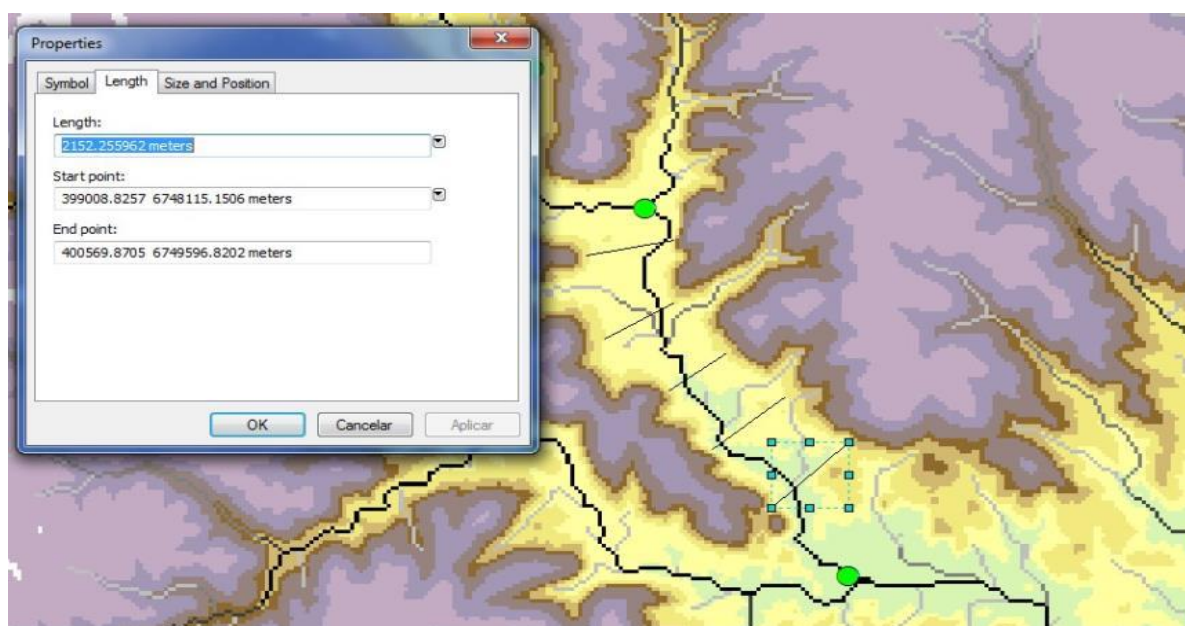
As variáveis EXT e B serão atingidas a partir das imagens do *Google Earth*. Os valores de CtM, CtJ, Z1 e B1 serão calculados a partir dos dados altimétricos SRTM.

O coeficiente de rugosidade foi definido com base nos estudos de Porto (1998) e Cirilo et al. (2001) (Tabela 06). A largura média do rio será obtida pelas imagens de satélite do *Google Earth*. As medidas serão retiradas manualmente medindo a largura do rio em vários trechos, conforme a divisão das sub-bacias.

A extensão do canal do rio foi obtida através da vetorização da imagem SRTM da Bacia Taquari-Antas. O geoprocessamento das bacias e dos trechos de rio, e, a divisão da bacia do rio Forqueta e do rio Fão em sub-bacias, foi processada no ArcGIS 10.2. Os dados foram extraídos através do botão *identify*, onde obteve-se, o comprimento do trecho do rio em cada foz, e, diminuindo o valor anterior, a largura de cada trecho de rio principal, conforme apresentado na figura 07.

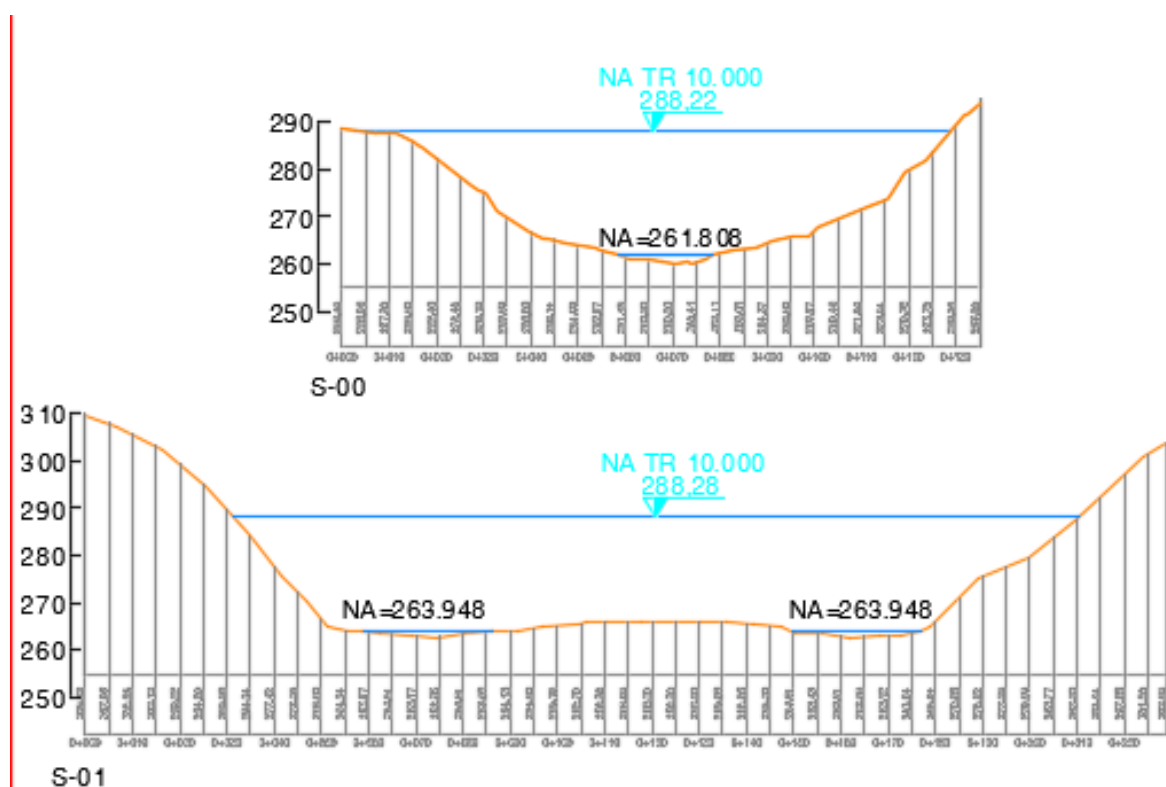
A largura da planície de inundação foi retirada do MDE, onde através do ArcGIS 10.2 foi definido um valor maior na exibição das cotas de elevação, obtendo a largura através da medida das seções no botão **Measure**. Foram extraídas 05 seções para os trechos Médio Forqueta 01, Médio Forqueta 02 e Médio Forqueta 03 conforme Figura 09, após, calculada a média e adotado o valor médio para a largura da planície de inundação. Nos trechos Baixo Rio Fão, Médio Forqueta e Médio Rio Fão, foram adotados como parâmetro de cálculo três vezes a largura do canal do rio. Os trechos Alto Rio Fão, PCH Salto Forqueta e Alto Rio Forqueta, foram adotados como parâmetro de cálculo para obter a largura do trecho de rio, com duas vezes a largura do rio principal.

Figura 9 - Medição da largura da planície de inundação do trecho Médio Rio Forqueta



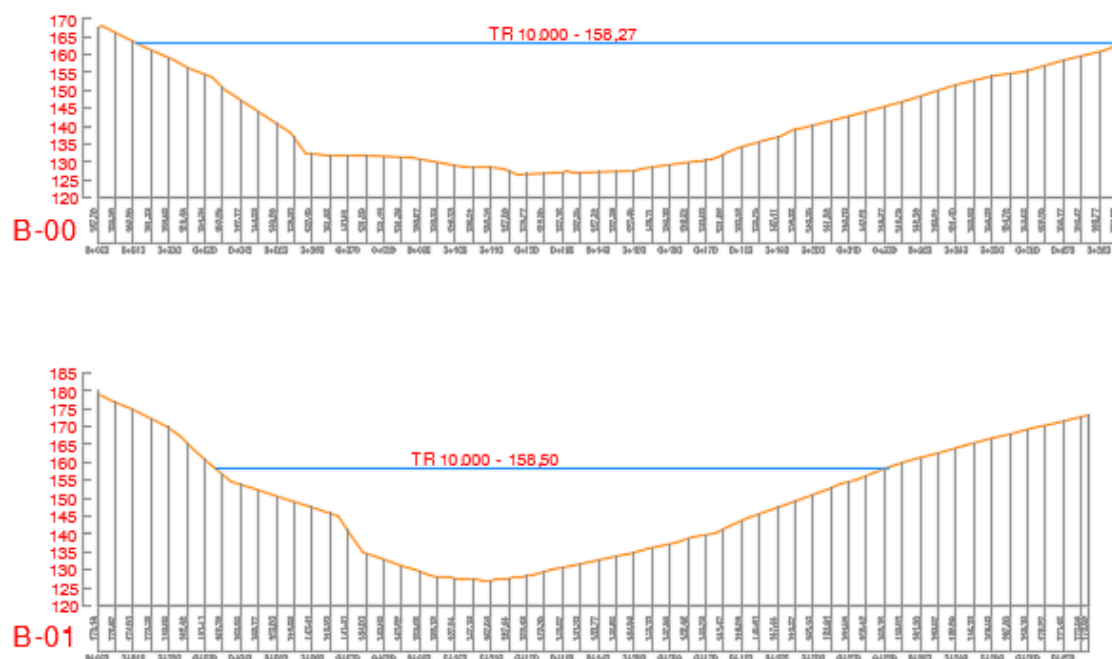
As alturas do canal de inundação foram extraídas dos perfis transversais dos projetos básicos das PCH Foz do Jacutinga apresentado na Figura 10 e seções da PCH Vale Fundo conforme Figura 11. Este material foi fornecido pela empresa Certel. Através dos dois perfis foi feita uma média para as bacias do rio Forqueta e do rio Fão em função das características dos dois rios serem parecidas. Para bacias acima da PCH Salto Forqueta foi calculado um valor médio de 3,4 metros, já para as bacias abaixo da PCH foi calculado o valor de 3,8 metros. A partir destes valores foram estimados valores diferentes para cada trecho de rio. Nos pontos onde a seção transversal pertencia aos rios, foram mantidos os valores encontrados. Nas áreas distantes, conforme foi diminuindo ou aumentando as altitudes, e em função das características similares, foram aumentadas ou diminuídas, relacionando a localização do trecho de rio e da sub-bacia de estudo.

Figura 10 - Perfil transversal do projeto básico da PCH Foz do Jacutinga



Fonte: Adaptado pelo autor de Bancos de dados CERTEL, (2014).

Figura 11 - Perfil transversal do projeto básico PCH Vale Fundo



Fonte: Adaptado pelo autor de Bancos de dados CERTEL, (2014).

Para a obtenção do coeficiente de *Manning*, para cada trecho de rio, foi observada a vegetação e as características dos rios, com visitas a campo realizadas pelo autor, onde foram definidos os critérios para cada trecho de canal. Na rugosidade do canal para as bacias situadas próximas a Marques de Souza, devido a características diferentes, se comparadas ao restante da área de estudos, esta foi interpolada entre os valores de canais de terra nas condições má e regular, referentes a canais com leito pedregoso. Já na parte acima da área foram utilizadas as condições de regular a má, e, realizada uma interpolação entre córregos e rios retilíneos uniformes, porém com pedras e vegetação, obtendo assim o fator rugosidade dos canais conforme tabelas 05, valores estes, baseados na tabela dos coeficientes de rugosidade de *Manning* tabela 06.

Nos trechos Médio Rio Fão, Alto Rio Fão, PCH Salto Forqueta, as condições do canal do rio se encaixam entre regular e má e, a natureza das paredes do canal, como canais de leito pedregoso e talude vegetado. Fazendo a média entre os valores regulares e maus tivemos um valor de coeficiente de *Manning* de 0,04. Nos trechos Baixo Rio Fão e Médio Rio Forqueta, a natureza das paredes foi definida como córregos limpos com pedras e vegetação.

Fazendo a média entre os valores regulares e maus tivemos um valor de coeficiente de 0,037. Já nos trechos Médio Forqueta 01, Médio Forqueta 02 e Médio Forqueta 03, foram realizadas as médias entre os valores de córregos limpos, retilíneos uniformes e córregos limpos retilíneos uniformes com pedras e vegetação, chegando a um coeficiente de 0,033.

Para o coeficiente de rugosidade para a planície de inundação foi adotado um valor médio entre os trechos de Médio Forqueta 01, Médio Forqueta 02, Médio Forqueta 03, definidas como margens espraçadas com pouca vegetação, calculando na média os valores das condições regular e má das margens espraçadas com pouca vegetação, obtendo um coeficiente de *Manning* de 0,075. Nos trechos Baixo Rio Fão, Médio Rio Forqueta, Medio Rio Fão, Alto Rio Forqueta, Alto Rio Fão e PCH Salto Forqueta, a média entre os valores das condições regular e má da natureza das paredes entre margens espraçadas com pouca vegetação e, margens espraçadas com muita vegetação, obteve-se um coeficiente de *Manning* igual 0,125.

Para a obtenção da largura dos rios foi utilizado o *Google Earth*. Através deste, foram localizadas as divisões de cada sub-bacia e seus trechos de rio. Após a localização, foram medidas 10 secções transversais apresentados na Figura 12, com as larguras de cada trecho do rio através da ferramenta régua, encontrado no menu ferramentas do *Google Earth*. Após a execução de cada medição, foram anotados os valores e, levados para uma planilha Excel, onde foi extraída a média para cada trecho de rio de cada sub-bacia. A altura da planície de inundação será definida como 100 metros, para que o rio não transborde, com isso mantendo os volumes dentro da área do rio.

Figura 12 - Medição de 10 seções transversais do rio Forqueta no *Google Earth*.



Fonte: Adaptada de *Google Earth* (2015).

Tabela 5 - Parâmetros extraídos dos trechos de rio utilizados no modelo *Muskingum-Cunge*

	(B)	ctm	ctj	Z	N	Z1	B1	N1
Trechos de rio	Largura média	Cota do canal montante	Cota do canal jusante	Profundidade do canal	Manning canal	Altura da planície	Largura da planície	Manning planície
Médio Rio Forqueta 03	88,9	42	27	3,9	0,033	100	2020,34	0,075
Médio Rio Forqueta 02	90,8	54	42	3,9	0,033	100	1469,63	0,075
Médio Rio Forqueta 01	88,0	72	54	3,8	0,033	100	842,94	0,075

	(B)	ctm	ctj	Z	N	Z1	B1	N1
Trechos de rio	Largura média	Cota do canal montante	Cota do canal jusante	Profundidade do canal	Manning canal	Altura da planície	Largura da planície	Manning planície
Médio Rio Fão	65,7	229	146	3,6	0,04	100	197,19	0,125
Baixo Rio Fão	75,0	146	76	3,8	0,037	100	224,99	0,125
Alto Rio Fão	45,9	427	229	3,6	0,04	100	91,86	0,125
PCH Salto Forqueta	59,9	340	208	3,4	0,04	100	119,72	0,125
Alto Forqueta	32,7	476	340	3,4	0,04	100	65,44	0,125

Fonte: Do autor

Para a propagação da vazão nos trechos de rio foi utilizado o modelo *Muskingum-Cunge*. O modelo *Muskingum*, desenvolvido por McCarthy (1938) é um modelo de escoamento em rios do tipo armazenamento. Estes modelos utilizam a equação da continuidade concentrada (Equação 8), e uma relação entre o armazenamento (S) e a vazão de saída e entrada do trecho, para simular o escoamento no rio (TUCCI, 1998).

Equação 8 - Equação da continuidade concentrada

$$\frac{dS_t}{dt} = I_t - Q_t + Q_l \quad (8)$$

Onde: I_t é o hidrograma de entrada; Q_t é o hidrograma de saída; Q_l é a contribuição lateral de todo o segmento do rio.

Tabela 6 - Tabela de rugosidade de *Manning*

Natureza das paredes	Condições			
	Muito Boa	Boa	Regular	Má
Alvenaria de pedra argamassada	0,017	0,02	0,025	0,03
Alvenaria de pedra aparelhada	0,013	0,014	0,015	0,017
Alvenaria de pedra seca	0,025	0,033	0,033	0,035
Alvenaria de tijolos	0,012	0,013	0,015	0,017
Calhas metálicas lisas (semicirculares)	0,011	0,012	0,015*	0,015

Natureza das paredes	Condições			
	Muito Boa	Boa	Regular	Má
Canais com leito pedregoso e talude vegetado	0,025	0,03	0,035	0,04
Canais Abertos em rocha (irregular)	0,035	0,04	0,045	-
Canais c/fundo em terra e talude c/pedras	0,028	0,03	0,033	0,035
Canais com revestimento em concreto	0,012	0,014*	0,016	0,018
Canais de terra (retilíneos e uniformes)	0,017	0,02	0,023	0,025
Canais dragados	0,025	0,028	0,03	0,033
Condutos de barro (drenagem)	0,011	0,012*	0,014*	0,017
Condutos de barro vitrificado (esgoto)	0,011	0,013*	0,015	0,017
Conduto de pranchas de madeira aplainada	0,01	0,012*	0,013	0,014
Gabião	0,022	0,03	0,035	-
Superfícies de argamassa de cimento	0,011	0,012	0,013*	0,015
Superfícies de cimento alisado	0,01	0,011	0,012	0,013
Tubo de ferro fundido revestido c/alcatrão	0,011	0,012*	0,013*	-
Tubo de ferro fundido sem revestimento	0,012	0,013	0,014	0,015
Tubos de bronze ou de vidro	0,009	0,01	0,011	0,013
Tubos de concreto	0,012	0,013	0,015	0,016
Tubos de ferro galvanizado	0,013	0,014	0,015	0,017
Córregos e rios limpos, retilíneos e uniformes	0,025	0,028	0,03	0,033
Igual ao anterior, porém c/pedras e vegetação	0,03	0,033	0,035	0,04
Com meandros, bancos e poços, limpos.	0,035	0,04	0,045	0,05
Margens espraçadas, pouca vegetação.	0,05	0,06	0,07	0,08
Margens espraçadas, muita vegetação.	0,075	0,1	0,125	0,15

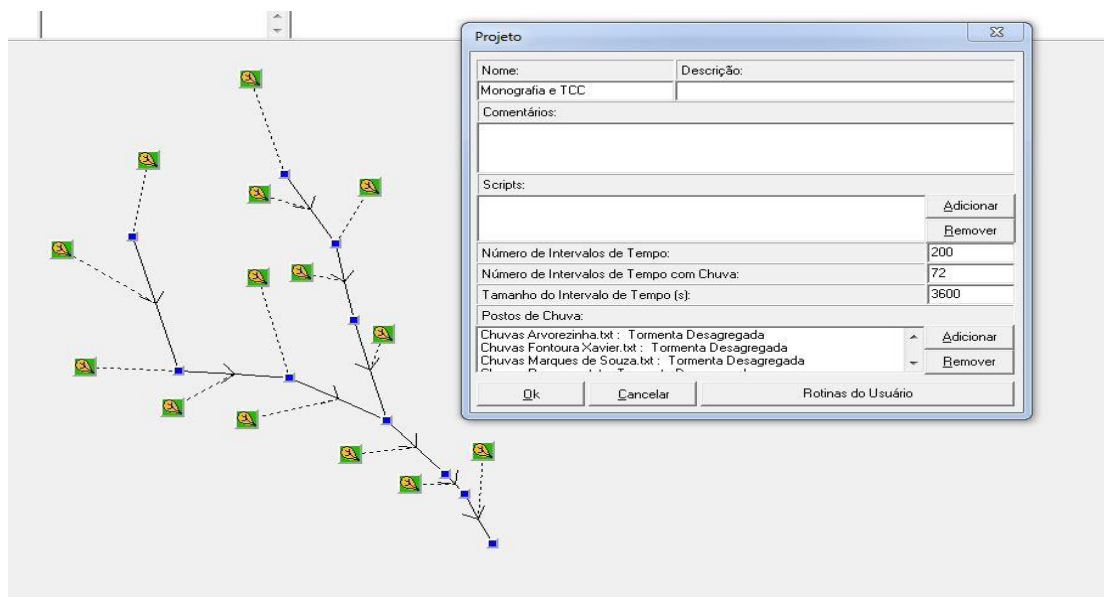
Fonte: Adaptado de Porto (1998) e Cirilo et al. (2001).

4.2.2 Simulação hidrológica no IPHS1

As simulações hidrológicas, da enchente de 03 e 04 de janeiro de 2010, foram realizadas no *software* IPHS1 (TUCCI et al., 1989). Neste sistema, foram inseridas a representação das sub-bacias e dos segmentos de rio e os parâmetros de entrada dos dois modelos hidrológicos utilizados (SCS e *Muskingum-Cunge*). No IPHS1, os dois modelos são executados em conjunto. Os hidrogramas de saída das sub-bacias foram calculados pelo método SCS, tornando-se a entrada dos trechos de rio. A propagação entre os trechos de rio é modelada pelo método *Muskingum-Cunge*. Deste modo, em cada trecho de rio foi gerado um hidrograma de saída, incluindo informações sobre a velocidade de propagação da onda de cheia.

Antes de iniciar a simulação são colocados os dados do projeto, sendo o número de intervalos de tempo, que neste estudo foi definido como 200; e, os intervalos de tempo de chuva, que é o número de dados de chuvas, que neste estudo foi de 72 e o tamanho de intervalo de tempo que foi definido como 3600 segundos, conforme apresentado na Figura 13. Também nesta parte foram inseridos os postos de chuva. Para os postos de chuva foram utilizados o INMET Soledade RS e dados da defesa civil das cidades de Arvorezinha, Fontoura Xavier, Marques de Souza, Progresso e Putinga. Como os postos de chuva da Defesa Civil dos municípios só têm a leitura diária destes, foi utilizado o posto do INMET de Soledade para gerar os horários em que as chuvas cessaram nos municípios, ao qual chamamos de chuvas horárias. Assim, foi obtido um percentual do horário, multiplicado pelo volume de chuvas que ocorreram nos municípios acima citados. Este método ocasionou uma pequena diferença no horário de pico da enchente.

Figura 13 - Parâmetros iniciais do projeto do IPHS1



Fonte: Adaptada de IPHS1 (2015).

Após a obtenção das chuvas horárias para cada posto, foram inseridos os dados do INMET. Para calcular a influência das estações em cada bacia foi obtido o centro de cada bacia através do ArcGis. Após, foi consultada a latitude e longitude de cada estação e cada sub-bacia.

Através do método das somas dos quadrados e o inverso da distância, foi gerado um percentual de influência da chuva de cada estação pluviométrica em cada uma das sub-bacias. Estes percentuais são apresentados na tabela 07.

Tabela 7 - Percentual de influências das chuvas de estação em cada sub-bacia

Local	Fontoura Arvorezinha	Xavier	Marques de Souza	Progresso	Putinga	Soledade
Médio Rio Forqueta 03	1%	2%	66%	20%	9%	2%
Médio Rio Forqueta 02	2%	2%	54%	30%	10%	2%
Médio Rio Forqueta 01	1%	1%	42%	45%	9%	2%
Baixo Rio Fão	2%	2%	17%	64%	11%	4%
Médio Rio Forqueta	0%	1%	0%	99%	0%	0%

Local	Fontoura Arvorezinha	Xavier	Marques de Souza	Progresso	Putinga	Soledade
Barra do Dudaia	2%	4%	13%	45%	20%	12%
Médio Rio Fão	4%	5%	16%	41%	16%	18%
Arrio Marcelino	5%	9%	13%	25%	14%	34%
Alto Rio Fão	0%	1%	0%	99%	0%	0%
PCH Salto Forqueta	2%	3%	11%	45%	35%	5%
Lajeado Bonito	2%	3%	11%	45%	34%	5%
Alto Rio Forqueta	8%	11%	10%	20%	28%	23%
Nascente Rio Forqueta	13%	25%	7%	10%	16%	29%
Nascente do Rio Fão	2%	5%	3%	5%	4%	81%

Fonte: Do autor

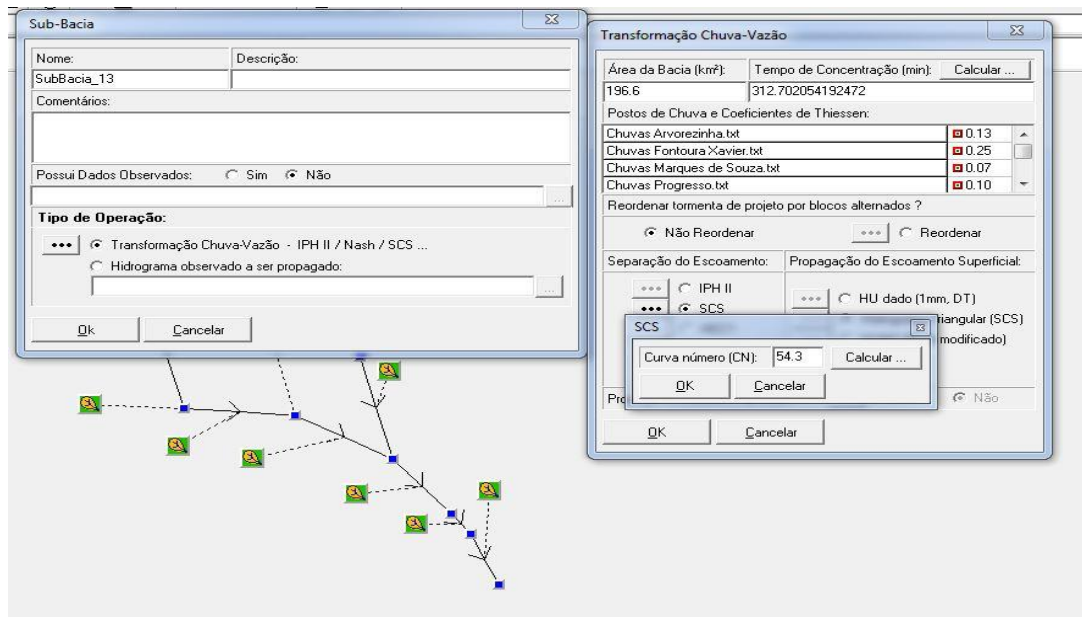
Após a obtenção de todos os parâmetros obtidos através de geoprocessamento e outros métodos citados acima. No IPHS1 foram colocados os dados obtidos para cada bacia. No modelo SCS para transformação chuva-vazão, são utilizados os parâmetros de CN, área da bacia comprimento do rio principal e desnível altimétrico (Figura 14).

No método de *Muskingum-Cunge* com planície de inundação, os parâmetros utilizados no modelo foram: comprimento do trecho de propagação; cota de fundo montante; cota de fundo jusante; altura do canal principal; largura do canal principal; rugosidade dos sub-trechos; largura da planície e rugosidade da planície. Os dados restantes de vazão de referência (m^3/s), número de subtrechos e intervalo de tempo de cálculo, foram deixados no modo automático conforme apresentado na Figura 15. Após a colocação dos parâmetros, através da modelagem hidrológica, serão alcançados os valores de vazão (Q) e de velocidade de escoamento (v), em função do tempo (t). A partir destas informações, é possível calcular a área da seção transversal "molhada" (A_s), a partir da Equação 09.

Equação 9 – Equação da área da seção transversal

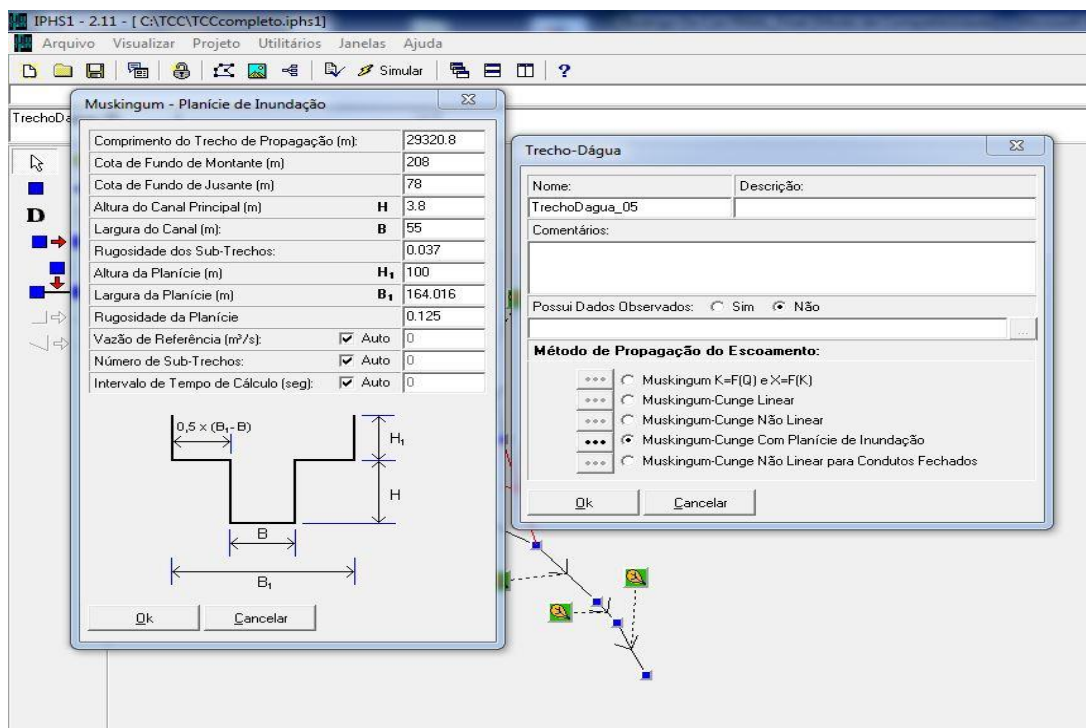
$$A_{s_t} = \frac{Q_t}{v_t} \quad (09)$$

Figura 14 - Parâmetros do modelo SCS no IPHS1



Fonte: Adaptado de IPHS1, (2015)

Figura 15 - Parâmetros do modelo Muskingum-Cunge



Fonte: Adaptado de IPHS1, (2015)

Depois de realizar o preenchimento dos parâmetros nos dois modelos, foi realizada a conversão do ponto de controle para o barramento, na posição do barramento da PCH Salto Forqueta.

Nele são inseridos os seguintes dados de projeto da PCH Salto Forqueta: barramento; volume inicial armazenado; altitude do vertedouro; coeficiente de descarga do vertedouro; altitude máxima e comprimento e os valores de cota volume. Os dados utilizados na barragem, foram os dados de projeto da PCH Salto Forqueta, apresentados nos Apêndices B e C e na Tabela 08.

Tabela 8 – Dados gerais da PCH Salto Forqueta

Dados da PCH Salto Forqueta	
Vol. Inicial (m ³)	3.057.000
Altitude Inicial da Simulação (m)	206
Altitude do vertedouro (m)	206,8
Coeficiente de descarga do Vertedouro	2,18
Altitude máxima do vertedouro (m)	210,8
Comprimento do vertedouro (m)	95

Fonte: Adaptado pelo autor de Bancos de dados CERTEL, (2014).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análises das Chuvas

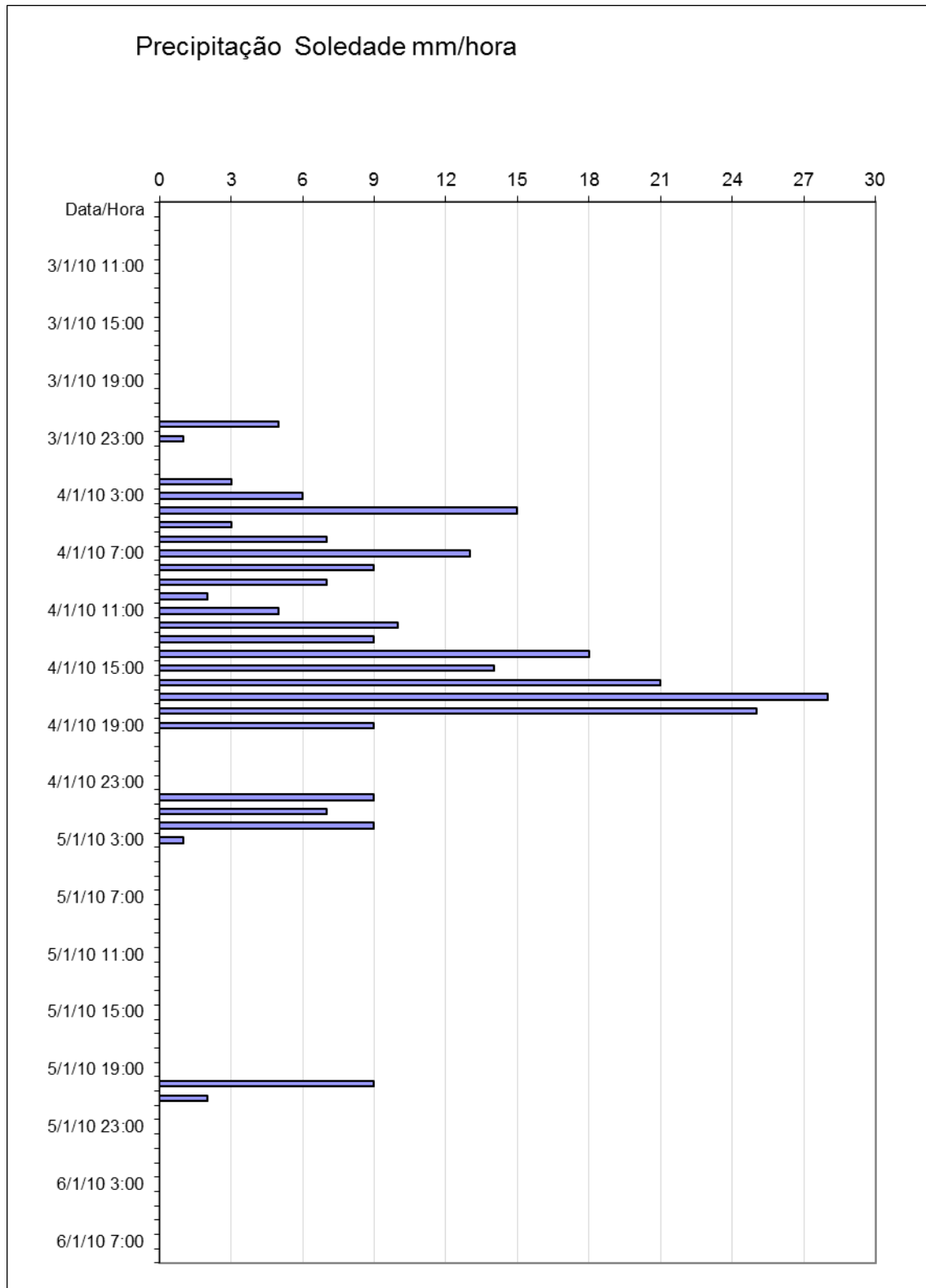
Com relação à análise das chuvas, foi encontrada uma diferença entre o horário em que ocorreu a enchente e o horário em que ela ocorreu na simulação. Mas esta diferença foi identificada, provavelmente, em função do horário de ocorrência das chuvas. No domingo 03/01/2010, as chuvas na região da hidrelétrica, nos municípios de Putinga, Fontoura Xavier e Progresso iniciaram aproximadamente às 17 horas, chovendo torrencialmente durante o fim da tarde e à noite, segundo relatos de moradores da região. A chuva horária, base para a simulação, foi da estação Soledade do INMET, com a qual foi feita a distribuição horária para as outras estações (Gráficos 01, 02, 03, 04, 05, 06). As chuvas iniciaram às 22 horas do dia 03/04/2015 na estação de Soledade, se comparado com o horário descrito pela população, há uma diferença aproximada de 05 horas. Este fator influenciou na simulação, retardando o resultado do escoamento em aproximadamente 04 horas, comparados com os dados fornecidos pela Certel. A precipitação diária ocorrida na região dos Rios Fão e Forqueta, e nos municípios é apresentada na Tabela 09.

Tabela 9 – Precipitação horária ocorrida nos municípios da área de estudo

Data	Soledade	Putinga	Progresso	Fontoura Xavier	Arvorezinha	Marques de Souza
03/01/2010	62 mm	120 mm	45 mm	128 mm	60 mm	32 mm
04/01/2010	174 mm	130 mm	190 mm	157 mm	150 mm	5 mm
05/01/2010	11 mm	17,5 mm	33 mm	42 mm	15 mm	0 mm
Total	247 mm	267,5 mm	268 mm	327 mm	225 mm	37 mm

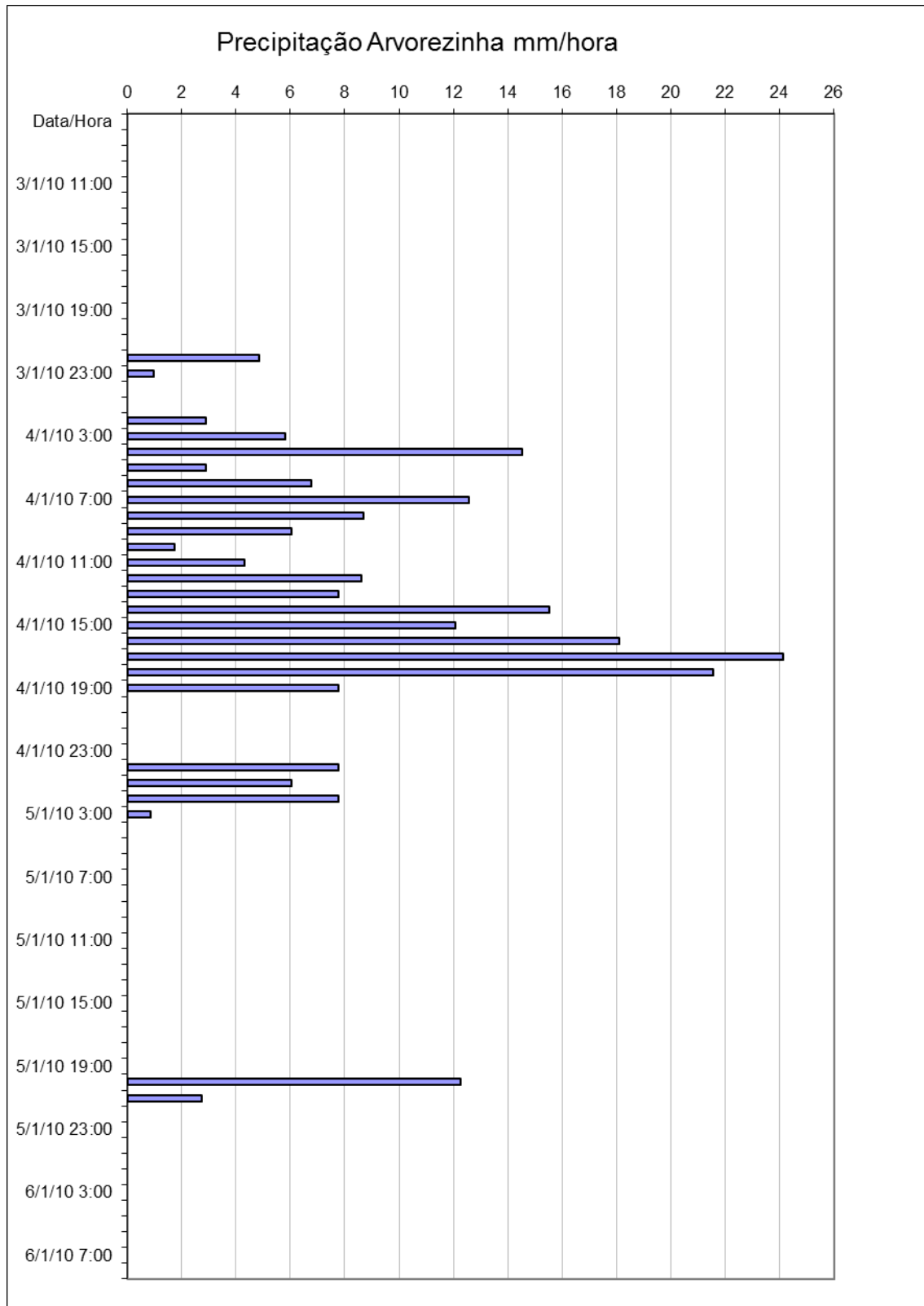
Fonte: Adaptado de INMET e Defesa Civil RS, (2014)

Gráfico 1 – Precipitação Horária INMET Soledade RS



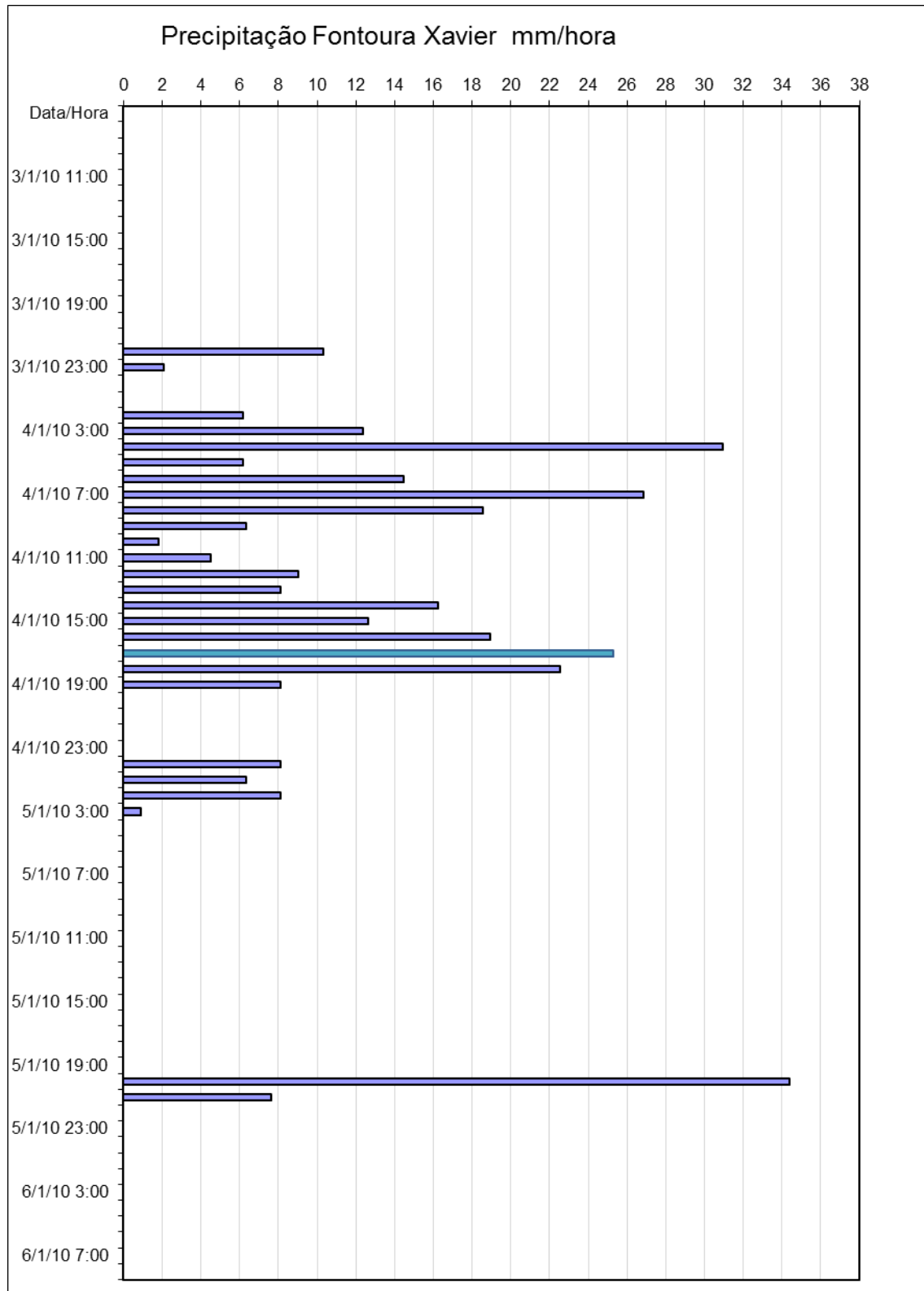
Fonte: Adaptado de INMET, (2014)

Gráfico 2 - Precipitação Horária estação da Defesa Civil de Arvorezinha



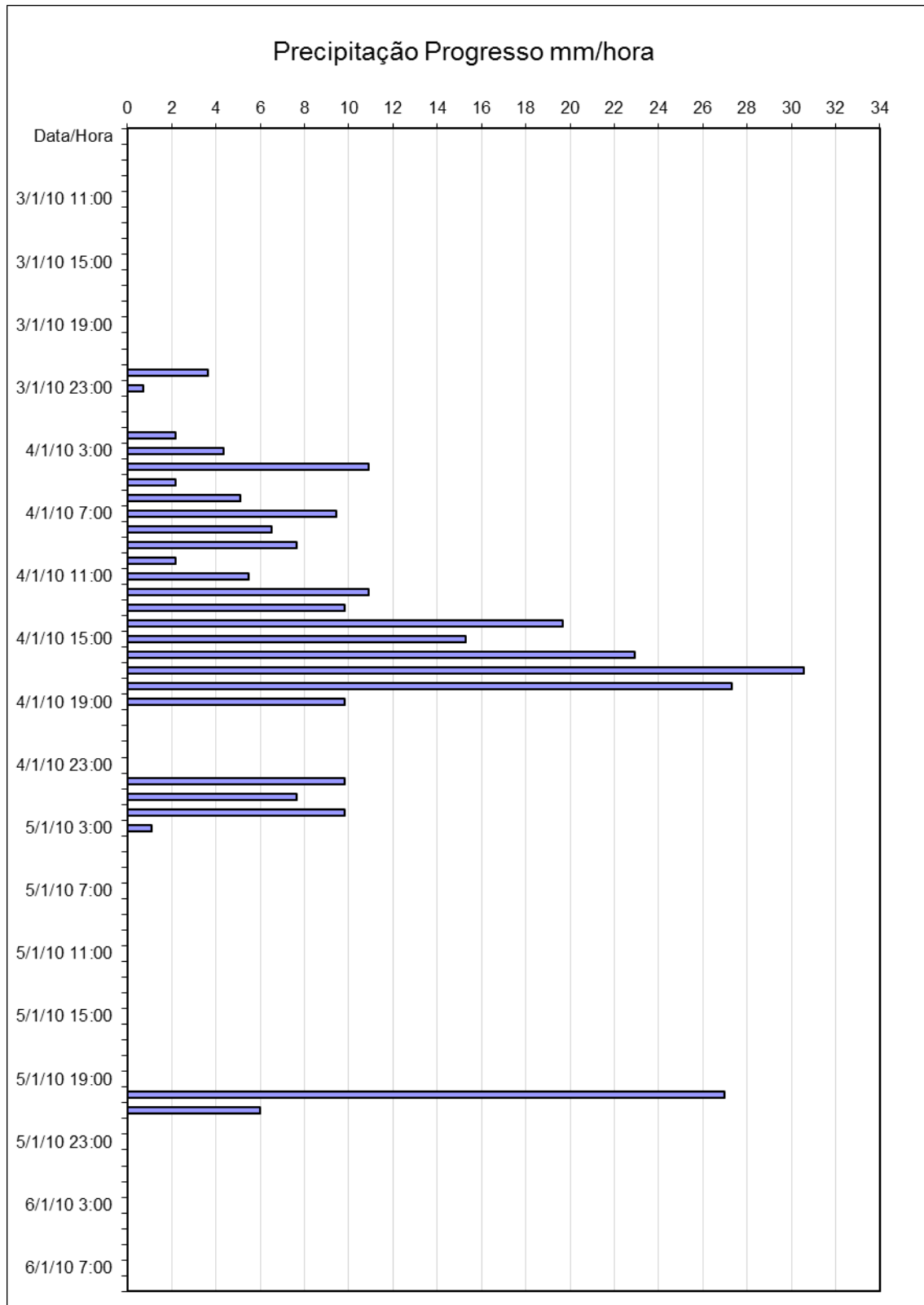
Fonte: Adaptado de Defesa Civil RS (2014)

Gráfico 3 – Precipitação Horária Estação da Defesa Civil de Fontoura Xavier



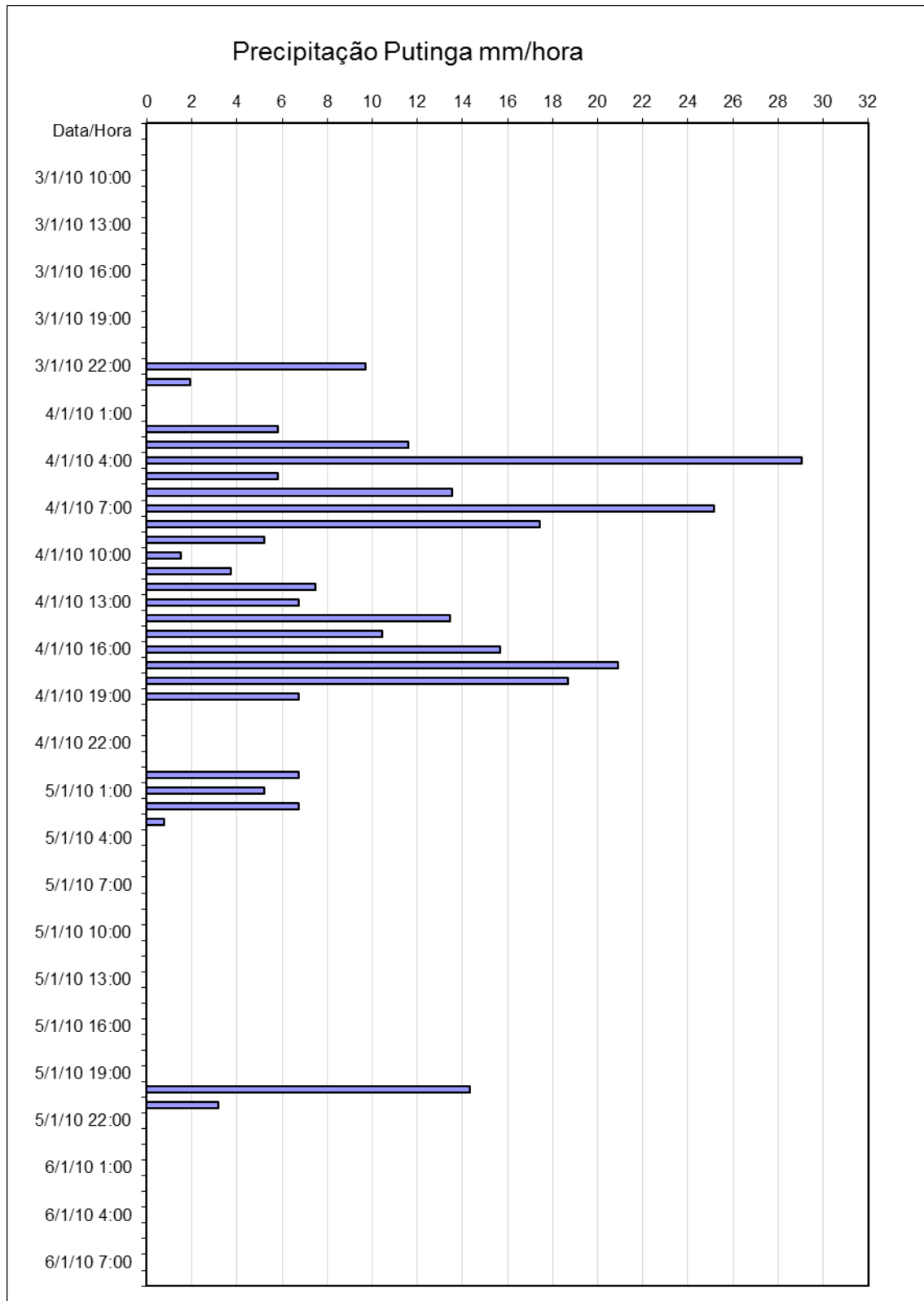
Fonte: Adaptado de Defesa Civil RS (2014)

Gráfico 4 – Precipitação Horária Estação da Defesa Civil de Progresso



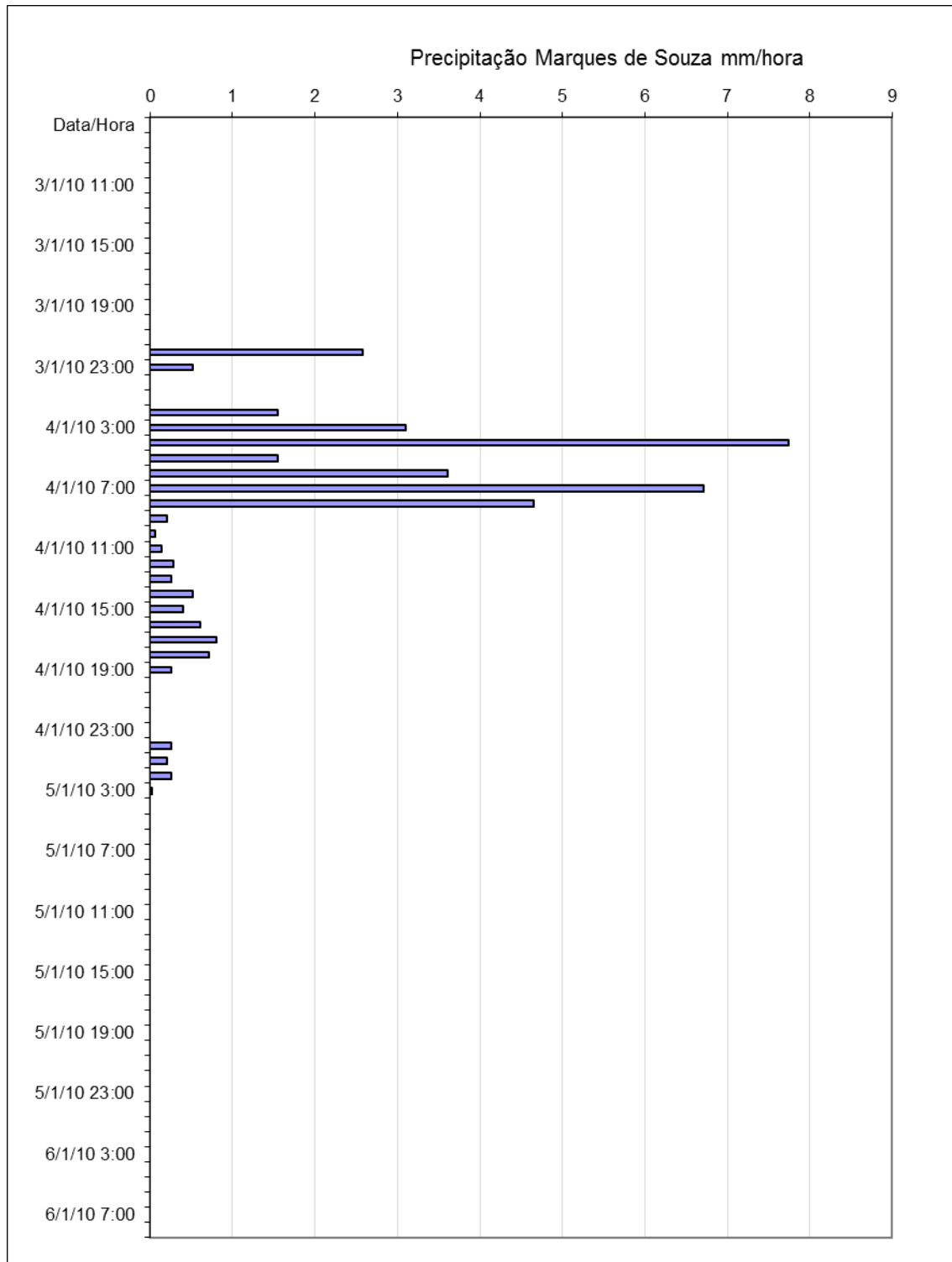
Fonte: Adaptado de Defesa Civil RS (2014)

Gráfico 5 – Precipitação Horária Estação da Defesa Civil de Putinga



Fonte: Adaptado de Defesa Civil RS (2014)

Gráfico 6 – Precipitação Horária Estação da Defesa Civil RS da cidade de Marques de Souza



Fonte: Adaptado de Defesa Civil RS (2014)

A simulação foi calibrada a partir do CN reduzido 17% (Tabela 10), os demais parâmetros dos modelos foram mantidos sem que nenhum deles fosse alterado. Com estes parâmetros chegou-se a uma altitude de 210,62m e uma vazão de 1547,82 m³/s, que se comparados aos do evento, têm uma diferença de 02 cm. Segundo a empresa Certel (2014), a altitude máxima observada no reservatório na enchente foi de 210,60, com uma vazão de 1534,104 m³/s, segundo dados do projeto (Apêndice B). Se comparados com os resultados obtidos na simulação, a diferença é menor que 1%, e a diferença no valor de vazão de 13,7 m³/s.

Tabela 10 - Parâmetros de CN normal e o utilizado na simulação, reduzido 17 %

Sub-Bacias	CN médio	Redução de 17%
Médio Rio Forqueta 03	69,9	58,0
Médio Rio Forqueta 02	75,9	63,0
Médio Rio Forqueta 01	68,0	56,5
Baixo Rio Fão	68,0	56,4
Médio Rio Forqueta	68,2	56,6
Barra do Duduia	65,8	54,6
Médio Rio Fão	66,1	54,8
Arrio Marcelino	69,1	57,3
Alto Rio Fão	66,1	54,8
PCH Salto Forqueta	66,1	54,8
Lajeado Bonito	67,4	55,9
Alto Rio Forqueta	66,5	55,2
Nascente Rio Forqueta	65,5	54,3
Nascente do Rio Fão	66,0	54,8

Fonte: Do autor

Após a obtenção dos valores de vazão e cotas, foram salvos todos os resultados dos trechos de rio e sub-bacias. Os resultados de vazão e cotas foram salvos em planilhas, e, os hidrogramas de cotas e volumes foram salvos em imagens para a análise de cada ponto de interesse.

Após obter-se valores próximos ao valor real da enchente, foi convertido o ponto onde estava situada ao barramento, para um ponto de controle. Em seguida, foi realizada novamente a simulação, sem o barramento. Após a simulação, foram salvos todos os hidrogramas e gráficos de cotas, também os resultados de vazão e cotas nas planilhas Excel para a análise dos resultados obtidos.

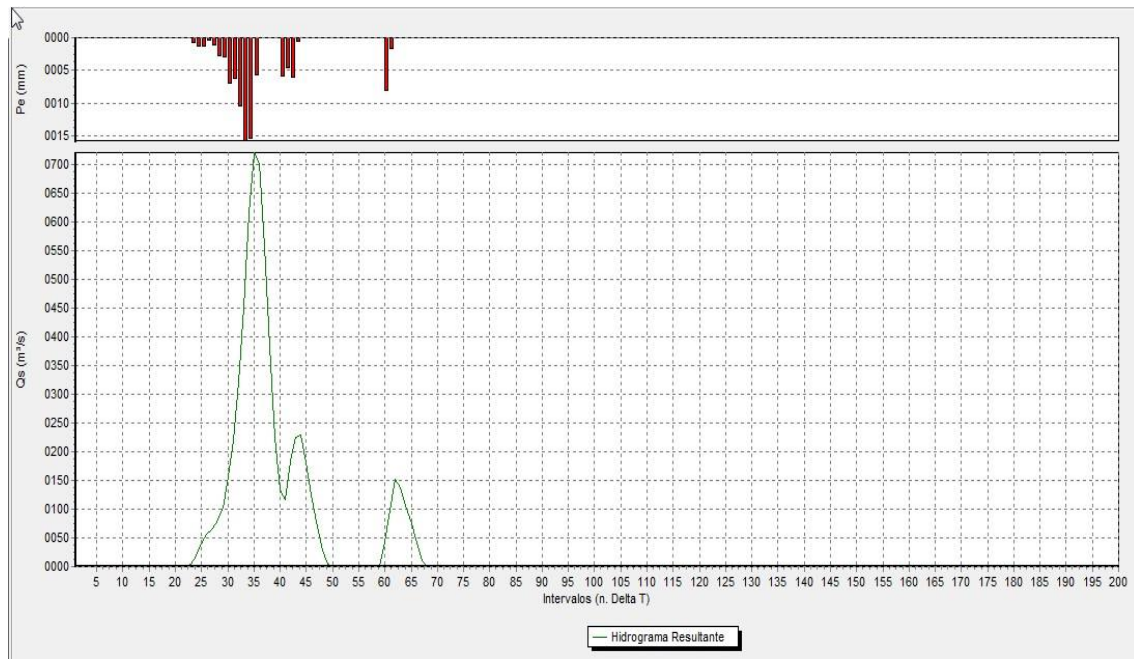
Salvo todos os arquivos necessários para a análise dos resultados foram geradas planilhas comparativas com os resultados das cotas, verificando a diferença entre as cotas com e sem barramento para todos os trechos de rio. Para as vazões, realizou-se o mesmo procedimento para comparar as vazões em cada um dos trechos estudados.

5.1 Análises das sub-bacias

As bacias dos rios Fão e Forqueta até a sua junção, somadas às sub-bacias do rio Forqueta têm uma área de 791,7 Km², e somadas as do rio Fão, 1284,56 Km². A área de drenagem do rio Fão é 492,86 Km² maior que do rio Forqueta. Analisando estes valores, estaria a explicação do por que o volume de água do rio Fão, no evento, foi de 985,21 m³/s maior que o rio Forqueta. A influência das chuvas nas duas bacias de estudo é muito parecida, pois os valores de precipitação nos municípios ao redor da área de estudo são muito próximos no dia 04 de janeiro de 2010 conforme Tabela 09. Estudando as bacias de maior área de cada um dos rios, verifica-se que as vazões são muito parecidas, se compararmos às áreas. Analisando as sub-bacia nascente do Rio Fão, com uma área de 238,5 km², localizada no rio Fão e sub-bacia Alto Forqueta, de área de 243,0 km², localizada no rio Forqueta, nota-se que o hidrograma resultante de vazões de saída, são muito parecidos, conforme podemos ver na Figuras 16 e 17.

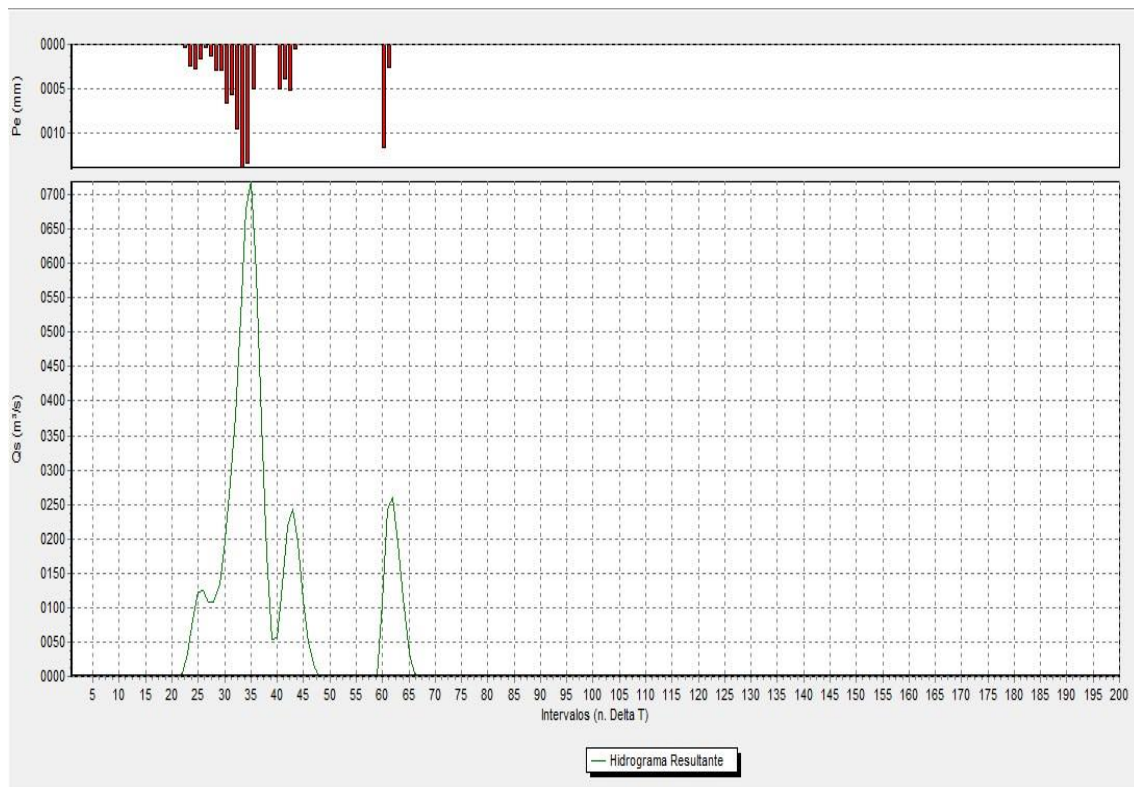
No estudo, comparando os valores de vazões para os dois rios, constata-se que, a influência maior durante a enchente que ocasionou prejuízos a cidade de Marques de Souza, vem do rio Fão, devido à sua maior área de drenagem. Quando se juntam os dois rios, combinados com o fenômeno de precipitação acima do normal nas duas bacias, acarretam na inundação da cidade e das áreas rurais do município. O período das chuvas foi em um curto espaço de tempo causando uma inundação rápida, em função da grande área das bacias, da declividade e do grande volume de precipitação.

Figura 16 - Hidrograma vazão x precipitação da sub-bacia Nascente do Rio Fão



Fonte: Do Autor

Figura 17 - Hidrograma vazão x precipitação da sub-bacia Alto Rio Forqueta



Fonte: Do Autor

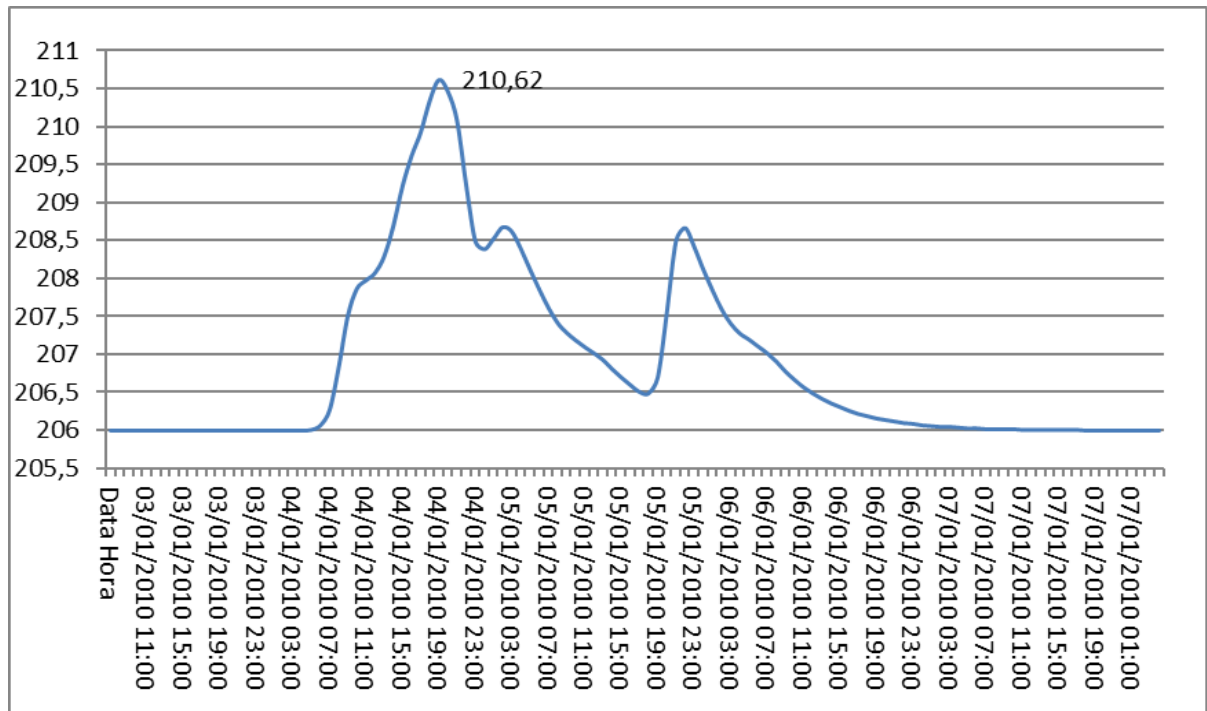
5.2 Análises do escoamento no rio Forqueta junto ao barramento

A simulação proporcionou um resultado satisfatório, pois foi possível chegar próximo à cota e a vazão ocorrida no dia 04 de janeiro de 2010 conforme apresentam os Gráficos 07 e 08. A partir dos resultados é possível realizar as análises das cotas e vazões nas duas simulações. Os resultados apresentam uma pequena redução nas vazões em todos os trechos que sofrem influência do barramento.

Os Gráficos 07 e 08 mostram as cotas e vazões atingidas no barramento da PCH Salto Forqueta, obtidas na simulação. Os gráficos 09 e 10 ilustram as cotas e vazões atingidas no trecho de rio subsequente ao barramento (Médio Rio Forqueta), em duas simulações, com e sem a PCH, respectivamente. As Tabelas 11 e 12 apresentam de forma mais precisa, respectivamente, as vazões e cotas atingidas no Médio Rio Forqueta em ambas as simulações.

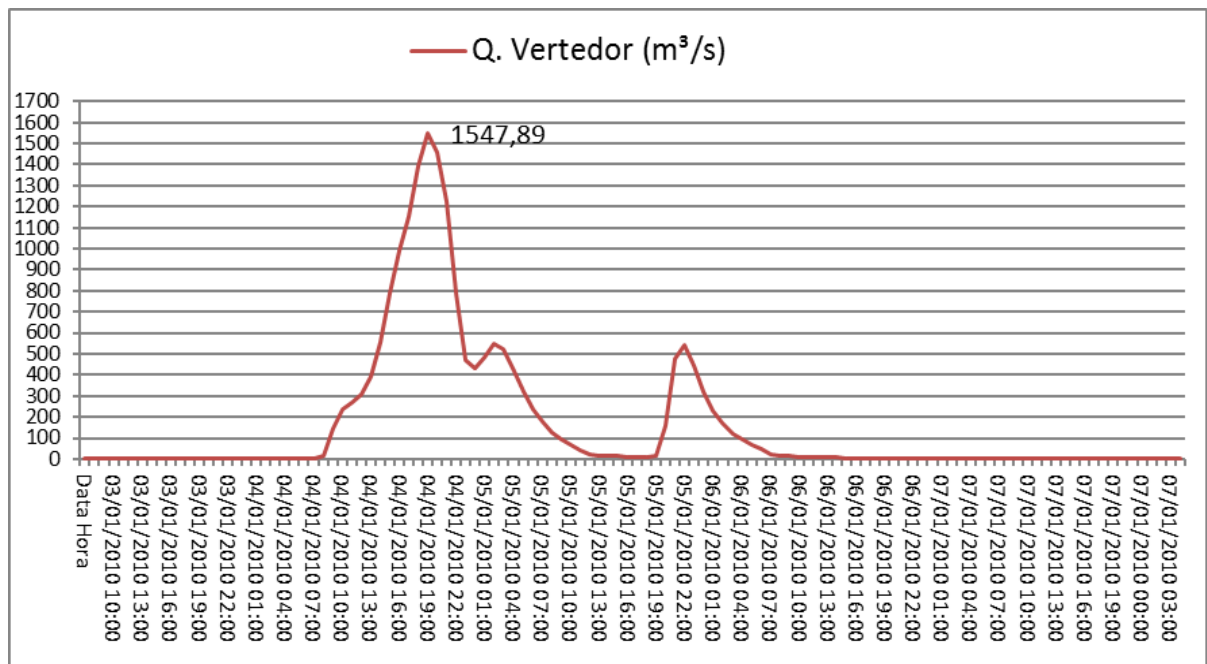
Analisando os resultados obtidos, nota-se uma redução de 06 cm na cota máxima atingida em virtude do barramento da PCH, o qual promoveu uma redução de 6,13 m³/s nas vazões no ponto da barragem. A diferença entre a cota e vazão máxima é pequena, se olharmos somente os valores máximos. Analisando as tabelas nota-se uma redução de até 65 m³/s nos instantes de tempo anteriores, que antecedem o valor máximo que se dá no dia 04/01/2010 às 20h00min. Pode-se notar também que no trecho Médio Rio Forqueta, situado à jusante do barramento, a vazão de saída é maior que a vazão de entrada, em virtude de pequenas bacias laterais que contribuem com vazões no trecho do rio Médio Forqueta. Portanto, coerente para obtermos resultados satisfatórios neste estudo. Verificando as vazões e as cotas para o trecho Médio Rio Forqueta, notamos que o barramento gera um pequeno retardo nas vazões máximas, ou seja, ela mantém a vazão mais regular por mais tempo.

Gráfico 7 – Altitudes do barramento da PCH Salto Forqueta obtidas na simulação



Fonte: Do autor

Gráfico 8 - Hidrograma de vazões do vertedor barramento da PCH Salto Forqueta obtidas na simulação



Fonte: Do autor

Tabela 11 – Comparações das vazões do trecho Médio Rio Forqueta com e sem o barramento localizado à jusante do barramento

	S/Barramento		C/Barramento		Diferença	
Data/hora	Qe	Qs	Qe	Qs	Qe	Qs
4/1/10 13:00	306,51	296,03	320,81	315,74	14,3	19,71
4/1/10 14:00	392,83	376,7	427,37	388,63	34,54	11,93
4/1/10 15:00	556,3	503,11	614,25	530,4	57,95	27,29
4/1/10 16:00	790,32	742,78	853,03	800,99	62,71	58,21
4/1/10 17:00	990,85	973,96	1021,03	994,53	30,18	20,57
4/1/10 18:00	1151,97	1123,11	1196,42	1147,13	44,45	24,02
4/1/10 19:00	1391,54	1285,84	1457,1	1317,74	65,56	31,9
4/1/10 20:00	1547,89	1465,76	1554,02	1510,33	6,13	44,57
4/1/10 21:00	1458,69	1638,31	1411,65	1705,61	-47,04	67,3
4/1/10 22:00	1226,9	1753,46	1167,64	1790,73	-59,26	37,27
4/1/10 23:00	790,07	1682,01	647,17	1666,47	-142,9	-15,54
5/1/10 0:00	469,31	1505,95	442,44	1449,32	-26,87	-56,63
5/1/10 1:00	428,45	1072,87	432,2	636,22	3,75	-436,65
5/1/10 2:00	484,17	600,15	511,94	589,66	27,77	-10,49
5/1/10 3:00	548,14	634,65	556,56	653,25	8,42	18,6
5/1/10 4:00	523,78	681,73	501,57	698,05	-22,21	16,32

Legenda

Qe = Vazão de Entrada em m³/s

Qs = Vazão de Saída em m³/s

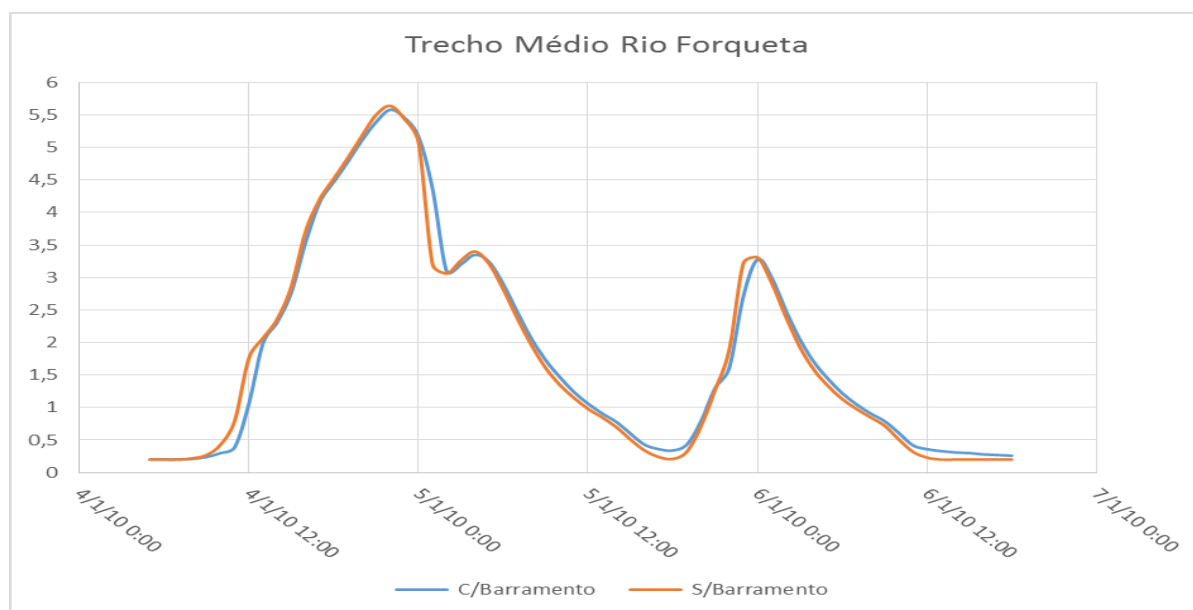
Fonte: Do autor

Tabela 12 – Comparação das Cotas do trecho Médio Rio Forqueta localizado à jusante do barramento no rio Forqueta

	C/Barramento	S/Barramento	Diferença
Data/hora	Cotas(m)	Cotas(m)	Metros(m)
4/1/10 13:00	1,99	2,07	0,08
4/1/10 14:00	2,31	2,36	0,05
4/1/10 15:00	2,77	2,86	0,09
4/1/10 16:00	3,53	3,7	0,17
4/1/10 17:00	4,15	4,2	0,05
4/1/10 18:00	4,47	4,52	0,05
4/1/10 19:00	4,78	4,84	0,06
4/1/10 20:00	5,11	5,18	0,07
4/1/10 21:00	5,39	5,5	0,11
4/1/10 22:00	5,58	5,64	0,06
4/1/10 23:00	5,46	5,44	-0,02
5/1/10 0:00	5,17	5,08	-0,09
5/1/10 1:00	4,36	3,2	-1,16
5/1/10 2:00	3,09	3,06	-0,03
5/1/10 3:00	3,2	3,26	0,06
5/1/10 4:00	3,35	3,4	0,05

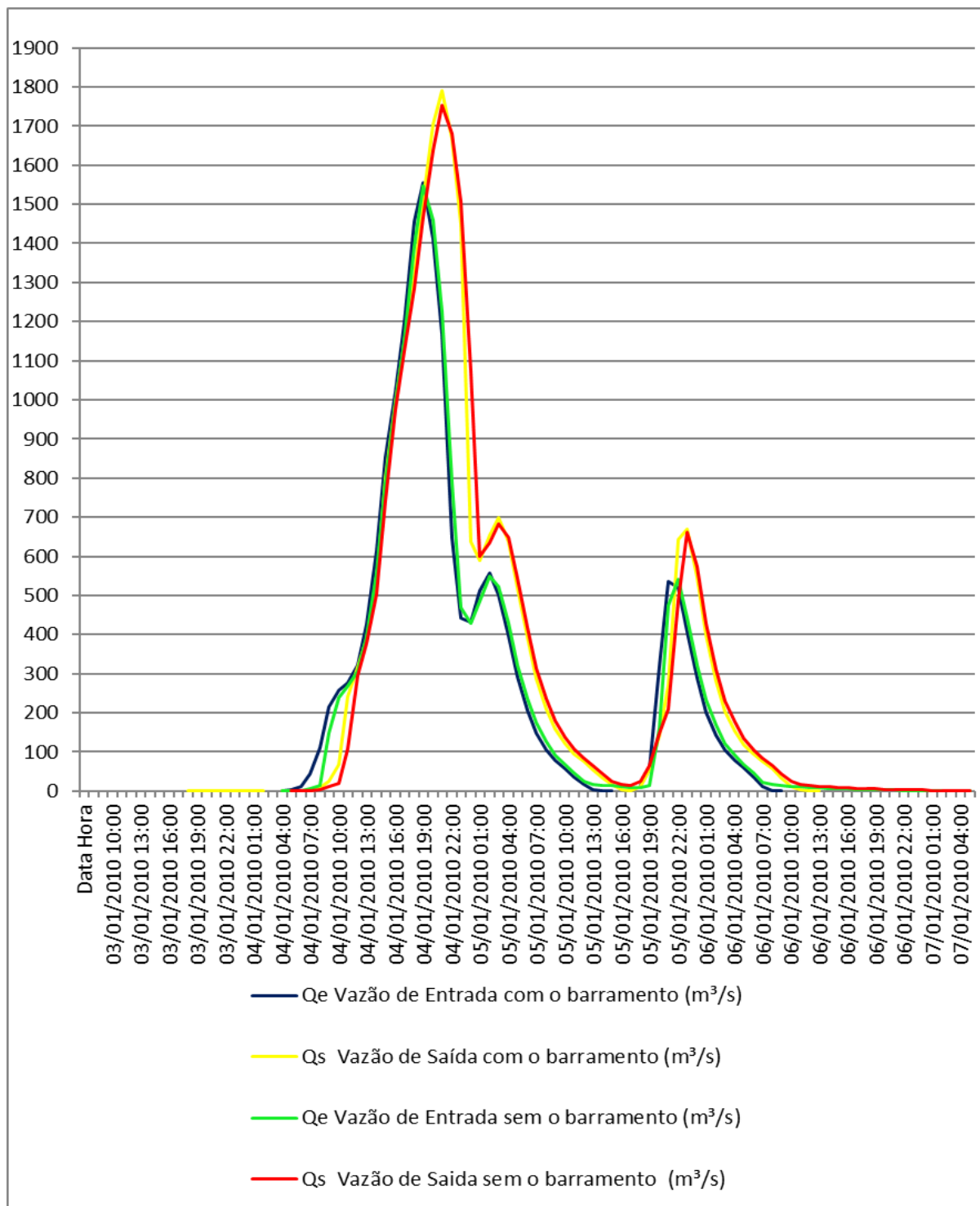
Fonte: Do autor

Gráfico 9 – Variação das cotas do Médio Rio Forqueta com o barramento e sem o barramento



Fonte: Do autor

Gráfico 10 – Variação das vazões do Médio Rio Forqueta com o barramento e sem o barramento



Fonte: Do autor

5.3 Análises do escoamento nos demais trechos dos rios Fão e Forqueta

Nas simulações notou-se que, provavelmente o barramento tenha contribuído para uma pequena redução da vazão no rio Forqueta, que provocou a inundação da cidade de Marques de Souza. Através dos gráficos de cotas e vazão dos trechos de influência na cidade, apurou-se uma redução na vazão e nas cotas em todos os trechos Médio Rio Forqueta 01, Médio Rio Forqueta 02 e Médio Rio Forqueta 03, onde ocorreram grandes perdas para a população, nas áreas situadas após os trechos Baixo Rio Fão e Médio Rio Forqueta, trechos estes em que ocorre a junção entre os dois rios. Na simulação sem o barramento no trecho Médio Rio Forqueta 01, no dia 04/01/2010, às 22h00min, fica evidenciada uma vazão máxima de 4524 m³/s, valores apresentados no Gráfico 11 e Tabela 14 e constata-se que a cota máxima foi de 7,12 metros, às 00h00min, conforme Tabela 13. Com o barramento, a partir da simulação hidrológica, estima-se que a vazão máxima teria sido de 4562 m³/s, valores estes apresentados na Tabela 14 e Gráfico 12, e, a cota máxima de 7,13 metros apresentado na Tabela 13. Percebe-se uma redução de 37,27 m³/s na vazão e de 01 cm na maior cota ocorrida. Esta análise, considerando somente as cotas máximas, as vazões de um modo geral e as cotas em instantes anteriores, as cotas chegam a ter uma redução de 06 cm e a vazão de até 67 m³/s. As vazões demoraram mais tempo para retornar ao leito normal do rio.

Tabela 13 – Comparação das Cotas do trecho Médio Rio Forqueta 01 situado após a junção entre os rios Fão e o Forqueta

	C/Barramento	S/Barramento	Diferença
Data/hora	Cotas(m)	Cotas(m)	Metros(m)
4/1/10 18:00	4,17	4,22	0,05
4/1/10 19:00	4,8	4,84	0,04
4/1/10 20:00	5,21	5,24	0,03
4/1/10 21:00	5,62	5,66	0,04
4/1/10 22:00	6,33	6,39	0,06
4/1/10 23:00	6,96	7,01	0,05
5/1/10 0:00	7,12	7,13	0,01
5/1/10 1:00	7	7	0
5/1/10 2:00	6,73	6,62	-0,11
5/1/10 3:00	6,35	6,21	-0,14
5/1/10 4:00	6	5,93	-0,07
5/1/10 5:00	5,74	5,72	-0,02
5/1/10 6:00	5,51	5,5	-0,01

	C/Barramento	S/Barramento	Diferença
Data/hora	Cotas (m)	Cotas(m)	Metros(m)
5/1/10 7:00	5,3	5,3	0
5/1/10 8:00	5,12	5,11	-0,01
5/1/10 9:00	4,96	4,96	0

Fonte: Do autor

Tabela 14 – Comparação das vazões do trecho de rio Médio Rio Forqueta 01, situado a montante da cidade de Marques de Souza.

	C/Barramento		S/Barramento		Diferença	
Data/hora	Qe	Qs	Qe	Qs	Qe	Qs
4/1/10 16:00	1547,55	762,25	1605,76	759,82	58,21	-2,43
4/1/10 17:00	2029,42	724,91	2049,99	717,48	20,57	-7,43
4/1/10 18:00	2312,08	970,82	2336,1	1007,29	24,02	36,47
4/1/10 19:00	2692,63	1503,28	2724,53	1544,37	31,9	41,09
4/1/10 20:00	3414,17	1945,69	3458,73	1982,33	44,56	36,64
4/1/10 21:00	4173,6	2465,56	4240,9	2510,34	67,3	44,78
4/1/10 22:00	4524,85	3382,59	4562,12	3463,39	37,27	80,8
4/1/10 23:00	4342,86	4202,98	4327,32	4268,41	-15,54	65,43
5/1/10 0:00	3924,57	4399,74	3867,93	4414,14	-56,64	14,4
5/1/10 1:00	3229,74	4247,89	2793,1	4250,8	-436,64	2,91
5/1/10 2:00	2508,73	3900,3	2498,24	3760,31	-10,49	-139,99
5/1/10 3:00	2308,97	3409,36	2327,57	3227,35	18,6	-182,01
5/1/10 4:00	1973,61	2954,86	1989,93	2857,44	16,32	-97,42
5/1/10 5:00	1657,96	2621,25	1648,36	2585,53	-9,6	-35,72
5/1/10 6:00	1477,97	2318,6	1453,73	2311,5	-24,24	-7,1
5/1/10 7:00	1196,46	2048,57	1170,05	2045,74	-26,41	-2,83

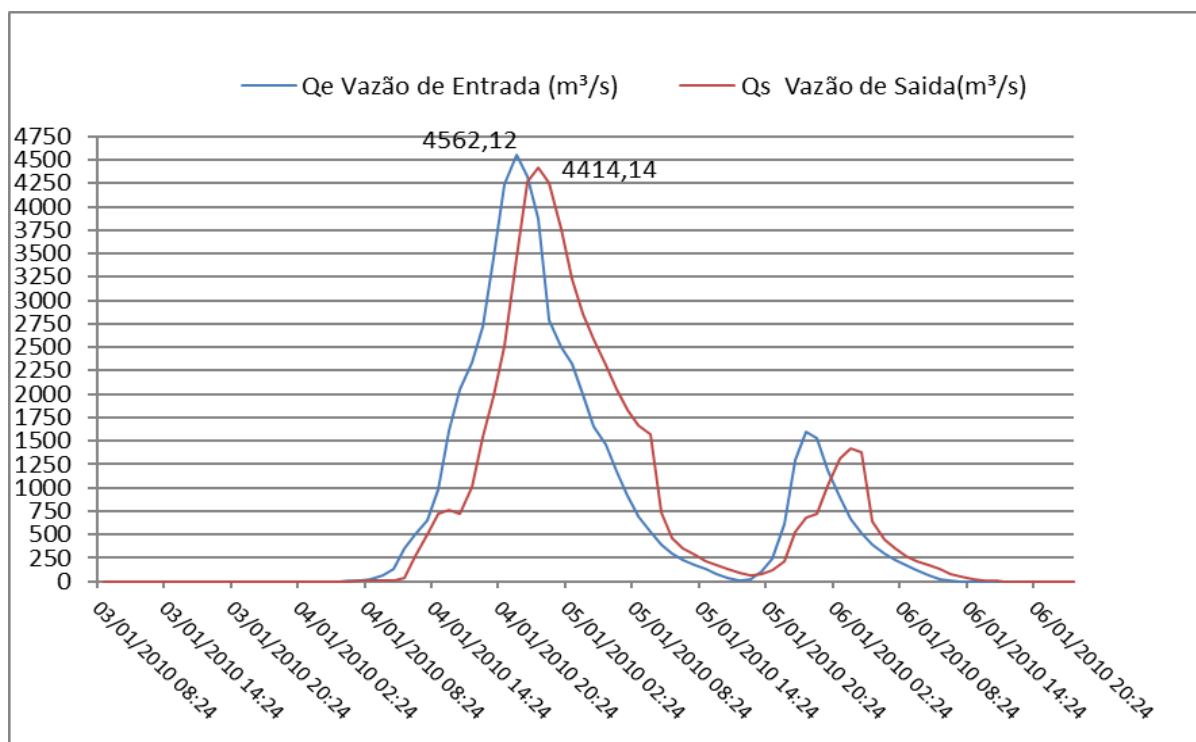
Legenda

Qe = Vazão de Entrada em m³/s

Qs = Vazão de Saida em m³/s

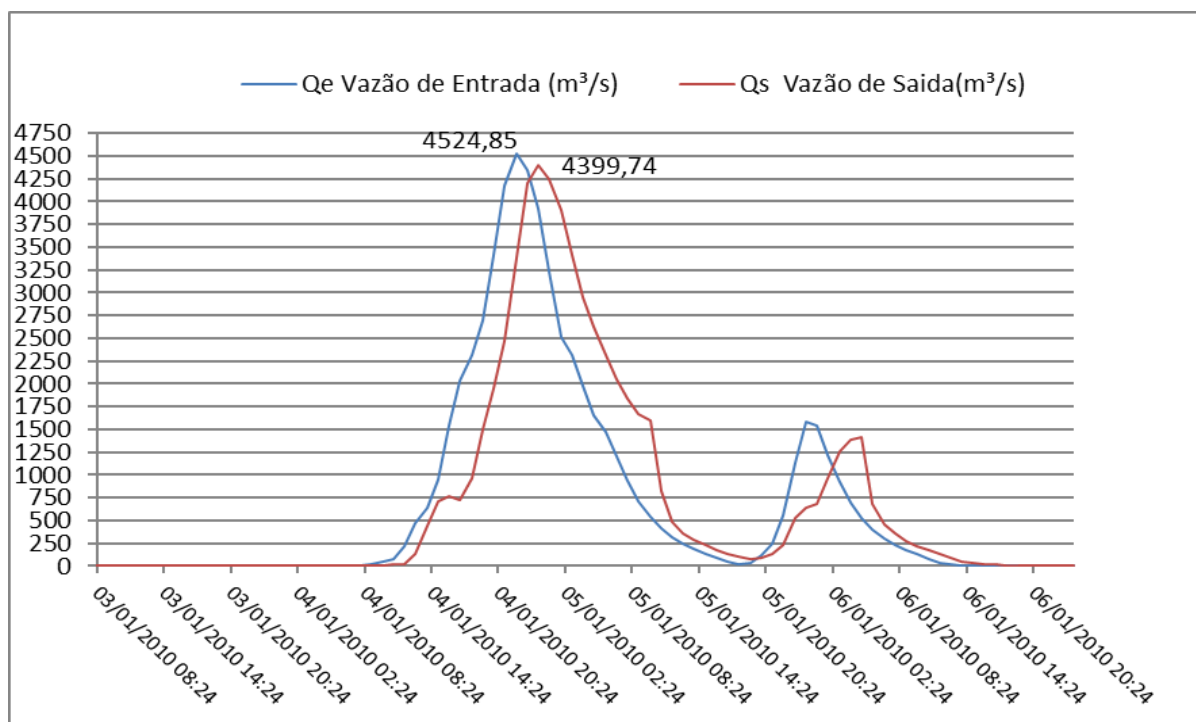
Fonte: Do autor

Gráfico 11 - Vazões do trecho de rio Médio Rio Forqueta 01 sem barramento



Fonte: Do autor

Gráfico 12 – Vazões do trecho de rio Médio Rio Forqueta 01 com barramento



Fonte: Do autor

Analisando somente o trecho de rio Médio Rio Forqueta 02, onde está situada a cidade de Marques de Souza, as cotas e vazões tiveram um resultado muito semelhante ao do trecho de rio Médio Rio Forqueta 01. Com uma redução na cota máxima de 5,82 para 5,81m, apresentados na Tabela 16, totalizando 01 cm, e, na vazão de 4414,14 m³/s para 4399,74 (Tabela 15), totalizando uma redução de 14,4 m³/s. A vazão de maior pico na simulação ocorreu às 00h00min do dia 01/05/2010. Na análise do trecho Médio Rio Forqueta 03, à jusante da cidade de Marques de Souza, os resultados para a vazão foram muito semelhantes, e, não houve alteração na cota, mantendo-se a mesma cota para as duas modelagens.

Tabela 15 – Comparação das vazões do trecho de rio Médio Rio Forqueta 02, situado na cidade de Marques de Souza

Data/hora	C/Barramento		S/Barramento		Diferença	
	Qe	Qs	Qe	Qs	Qe	Qs
4/1/10 18:00	970,82	918,89	1007,29	939,07	36,47	20,18
4/1/10 19:00	1503,28	1000,39	1544,37	1000,67	41,09	0,28
4/1/10 20:00	1945,69	1192,37	1982,33	1222,94	36,64	30,57
4/1/10 21:00	2465,56	1627,27	2510,34	1669,39	44,78	42,12
4/1/10 22:00	3382,59	2229,69	3463,39	2283,95	80,8	54,26
4/1/10 23:00	4202,98	3198,38	4268,41	3280,54	65,43	82,16
5/1/10 0:00	4399,74	4042,79	4414,14	4107,43	14,4	64,64
5/1/10 1:00	4247,89	4327,68	4250,8	4350,19	2,91	22,51
5/1/10 2:00	3900,3	4232,26	3760,31	4223,28	-139,99	-8,98
5/1/10 3:00	3409,36	3925,2	3227,35	3815,98	-182,01	-109,22
5/1/10 4:00	2954,86	3500,24	2857,44	3349,85	-97,42	-150,39
5/1/10 5:00	2621,25	3085,98	2585,53	2981,06	-35,72	-104,92
5/1/10 6:00	2318,6	2753,56	2311,5	2701,08	-7,1	-52,48
5/1/10 7:00	2048,57	2467,39	2045,74	2447,39	-2,83	-20
5/1/10 8:00	1841,99	2206,6	1834,31	2199,15	-7,68	-7,45
5/1/10 9:00	1667,89	1996,09	1666,91	1988,15	-0,98	-7,94
Legenda						
Qe =	Vazão de Entrada em m ³ /s					
Qs =	Vazão de Saida em m ³ /s					

Fonte: Do autor

As análises, nestes trechos, mostram uma pequena redução, tanto de vazão, como nas cotas máximas atingidas. Levando-se em conta o barramento da PCH Salto Forqueta, nota-se que o mesmo gera uma influência quase nula.

Em todas as bacias, a vazão de saída é maior que a entrada, mas considerando os trechos de rio Médio Rio Forqueta 01, Médio Rio Forqueta 02, Médio Rio Forqueta 03, situados abaixo da junção do Forqueta e do Fão, a vazão de entrada passa a ser um pouco maior que a vazão de saída.

Tabela 16 - Comparação das cotas do trecho de rio Médio Rio Forqueta 02, trecho da cidade de Marques de Souza

	C/Barramento	S/Barramento	Diferença
Data/hora	Cotas(m)	Cotas(m)	Metros(m)
4/1/10 18:00	3,63	3,68	0,05
4/1/10 19:00	3,83	3,83	0
4/1/10 20:00	4,09	4,12	0,03
4/1/10 21:00	4,47	4,51	0,04
4/1/10 22:00	4,86	4,89	0,03
4/1/10 23:00	5,34	5,38	0,04
5/1/10 0:00	5,7	5,72	0,02
5/1/10 1:00	5,81	5,82	0,01
5/1/10 2:00	5,77	5,77	0
5/1/10 3:00	5,65	5,61	-0,04
5/1/10 4:00	5,48	5,41	-0,07
5/1/10 5:00	5,29	5,24	-0,05
5/1/10 6:00	5,13	5,11	-0,02
5/1/10 7:00	4,99	4,98	-0,01
5/1/10 8:00	4,84	4,84	0
5/1/10 9:00	4,73	4,72	-0,01

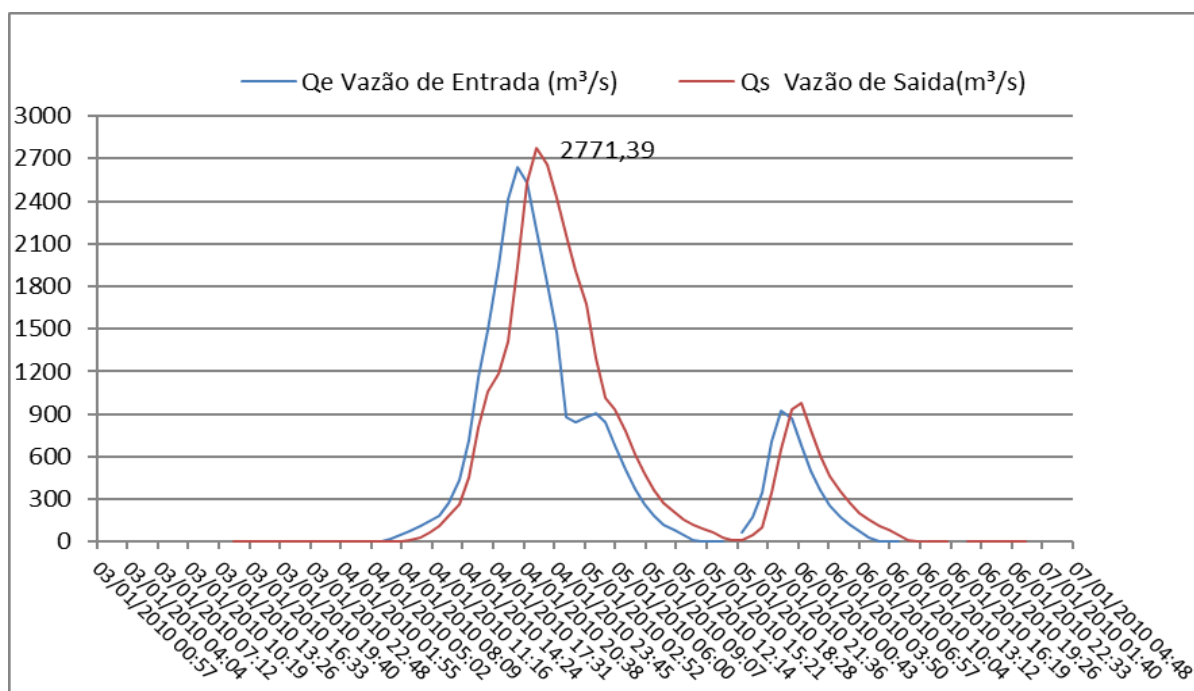
Fonte: Do autor

Analisando os resultados das vazões apresentadas nos trechos de rio Baixo Rio Fão (Gráfico 13) e Médio Forqueta (Gráfico 14), sem a influência do barramento, apresenta-se a vazão dos dois rios principais Forqueta e Fão. Nota-se que a vazão do rio Fão é muito superior ao rio Forqueta. A vazão de entrada do rio Fão é de 2533,1 m³/s, enquanto a do rio Forqueta é de 1547,89 m³/s. Sendo assim, a vazão do rio Fão, no evento estudado, é 985,21 m³/s maior que no rio Forqueta. Considerando as vazões de saída dos dois rios nos trechos Baixo Rio Fão e Médio Rio Forqueta para o rio Fão, a maior vazão é de 2770,39 m³/s, e do rio Forqueta é de 1790,73 m³/s. Juntando as duas, se dará a vazão de entrada do trecho Médio Rio Fão 01, que será de 4562,12 m³/s, conforme hidrograma apresentado no Gráfico 11.

Com esta comparação entre as vazões dos trechos Baixo Rio Fão e Médio Rio Forqueta, notamos que, no caso da enchente ocorrida em 2010, o rio Fão causou mais efeitos na inundação do que o Rio Forqueta, devido   sua maior vazão. Juntando com a vazão do rio Forqueta, causou prejuízos   população ribeirinha, campings e moradores do perímetro urbano da cidade, chegando   altitude 59 m, conforme informado pela Defesa Civil de Marques de Souza, inundando assim, 49% do perímetro urbano da cidade de Marques de Souza.

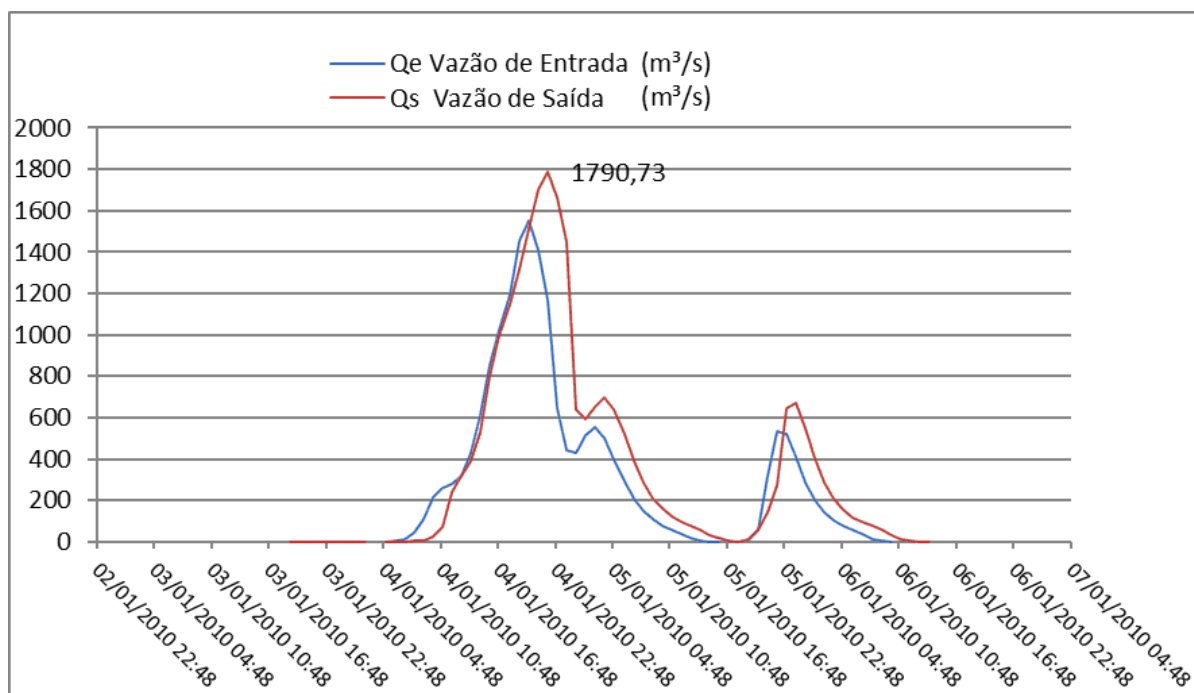
A situação apresentada acima se torna pertinente, pois ocorreu um fen meno que contribuiu para a grande quantidade de água que chegou   cidade. Foram vários deslizamentos de pedras, terras e árvores nos morros (ravinas) que ocorreram no interior do município de Fontoura Xavier, na Linha Formigueiro, ocasionando o represamento parcial do rio F o. Houve também destruição de pontes que ligam os municípios de Fontoura Xavier, Barros Cassal e Progresso (ASSUNÇÃO, 2010).

Gráfico 13 - Vazões do trecho do rio Baixo Rio F o



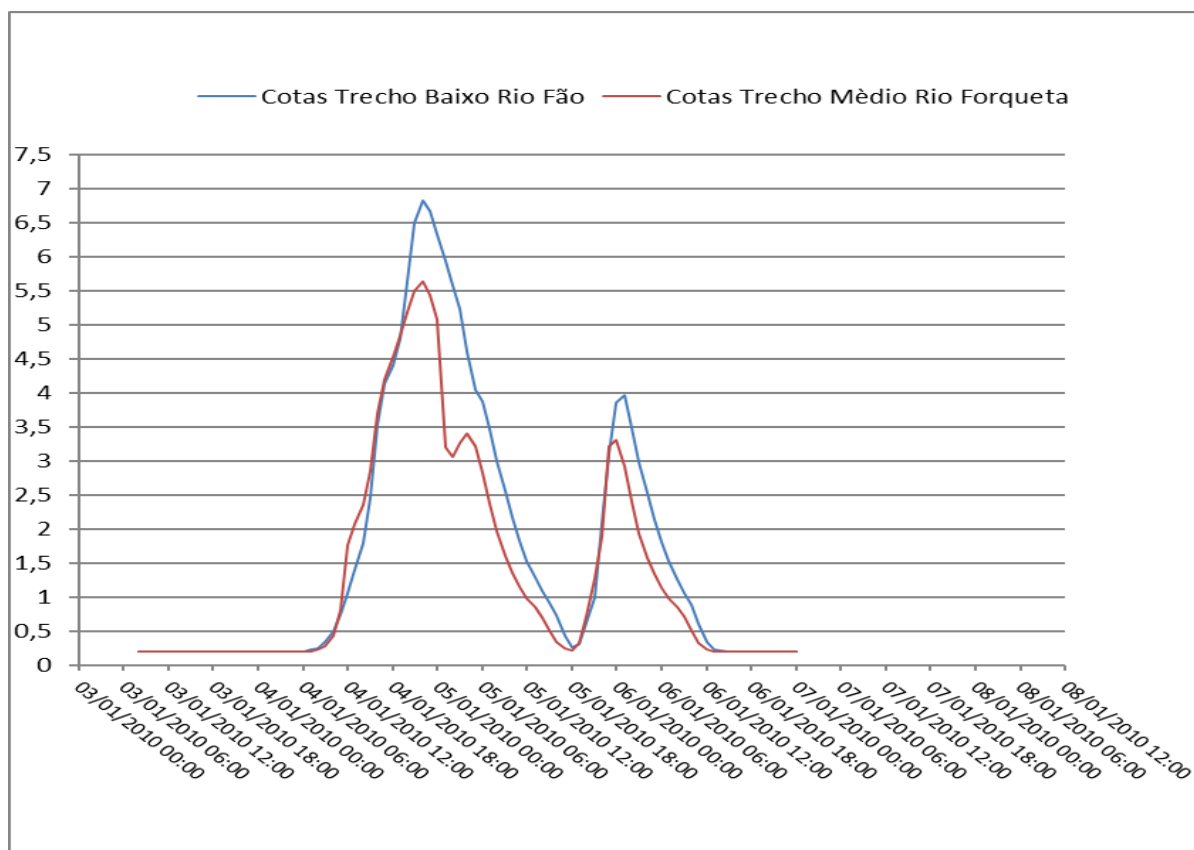
Fonte: Do Autor.

Gráfico 14 – Vazões do trecho do rio Médio Rio Forqueta sem influência do barramento



Fonte: Do autor.

Gráfico 15 – Comparativo de cotas do trecho do Baixo Rio Fão com as cotas do trecho Médio Rio Forqueta



Fonte: Do autor

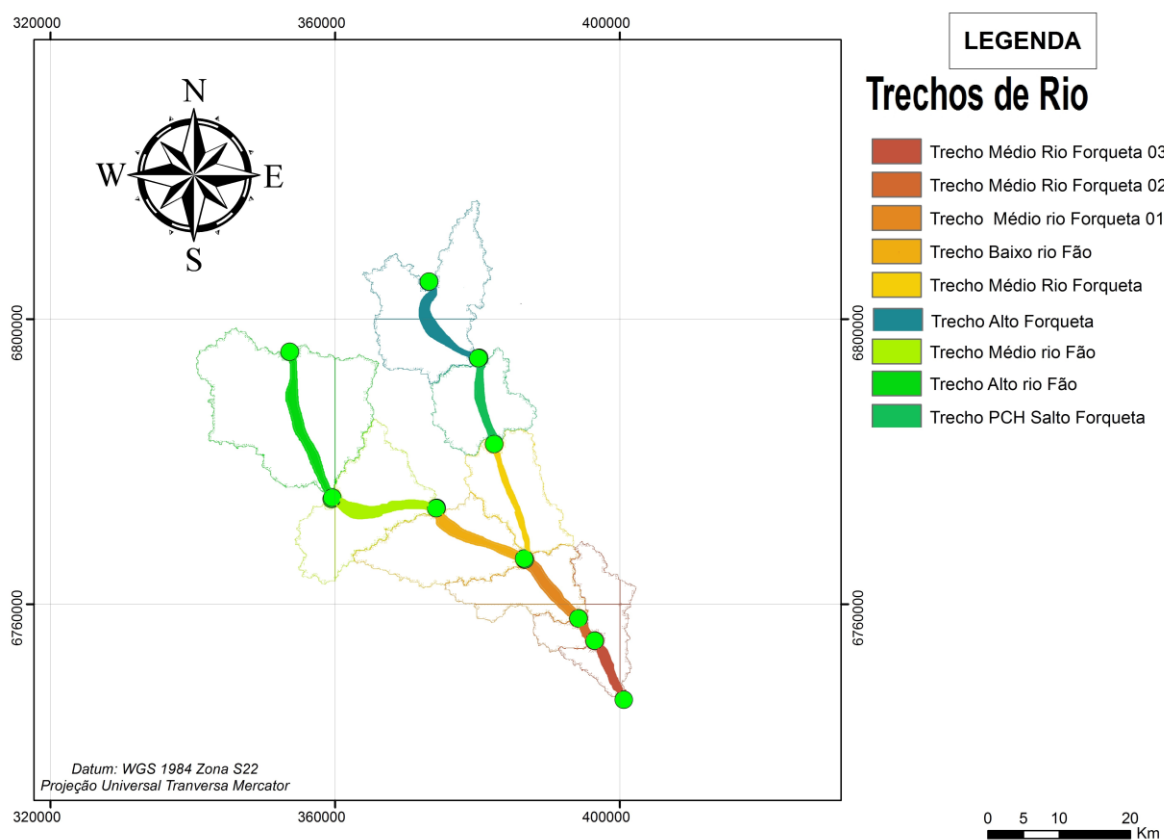
Na Tabela 17 são apresentados os valores de vazão de entrada e saída de todos os trechos de rio que não sofreram nenhuma influência nas suas vazões, e nem em suas cotas durante as duas simulações. Estes resultados foram comparados, pois no caso de haver alguma alteração nestas vazões, haveriam indícios de que a simulação estaria correta. Vale ressaltar que, nas duas simulações para os trechos sem influência do barramento, não houve alteração.

Tabela 17 - Vazões nos trechos sem influência do barramento da PCH Salto Forqueta

	Rio Forqueta				Rio Fão					
	Alto Rio Forqueta		PCH Salto Forqueta		Alto Rio Fao		Médio Rio Fão		Baixo Rio Fão	
Data/hora	Qe	Qs	Qe	Qs	Qe	Qs	Qe	Qs	Qe	Qs
4/1/10 13:00	132	257	328	321	156	160	254	184	277	179
4/1/10 14:00	168	357	457	427	221	278	413	306	439	267
4/1/10 15:00	221	485	613	614	321	492	680	527	718	453
4/1/10 16:00	302	619	800	853	453	779	1039	888	1156	805
4/1/10 17:00	399	817	1049	1021	615	1032	1375	1130	1490	1055
4/1/10 18:00	477	1026	1252	1196	722	1380	1756	1537	1948	1189
4/1/10 19:00	498	1109	1257	1457	703	1727	2051	2035	2414	1407
4/1/10 20:00	452	1018	1082	1554	559	1861	2084	2354	2638	1948
4/1/10 21:00	358	827	842	1412	383	1707	1829	2356	2533	2535
4/1/10 22:00	255	608	608	1168	226	1363	1411	2111	2199	2771
4/1/10 23:00	182	319	342	647	134	779	811	1767	1819	2661
5/1/10 0:00	136	281	339	442	117	497	559	1407	1472	2419
5/1/10 1:00	128	310	393	432	183	408	515	770	883	2157
5/1/10 2:00	139	356	436	512	226	465	589	705	840	1909
5/1/10 3:00	147	360	404	557	230	595	703	746	874	1674
5/1/10 4:00	138	308	327	502	182	618	689	816	910	1292
5/1/10 5:00	111	233	235	397	125	533	569	782	838	1010
5/1/10 6:00	82	161	161	291	68	403	416	655	680	935
5/1/10 7:00	52	108	108	207	29	276	277	503	511	777
5/1/10 8:00	26	74	74	148	5	170	170	369	369	618
5/1/10 9:00	9	50	50	106	0	98	98	262	262	478
Legenda										
Qe =	Vazão de Entrada em m ³ /s									
Qs =	Vazão de Saida em m ³ /s									

Fonte: Do autor

Figura 18 - Figura com os trechos de rio estudados



Fonte: Do autor

Estudando os dois rios, com relação à declividade dos rios Fão e Forqueta, percebe-se que são muito parecidos. O comprimento destes rios (que são os principais de cada bacia), são de 107,8 Km, para o rio Fão e 104,11 Km, para o rio Forqueta. Observa-se que o rio Fão tem um comprimento de 3,7 Km maior que o rio Forqueta.

CONCLUSÃO

A partir do estudo realizado pôde-se notar que os barramentos das pequenas Centrais Hidrelétricas têm uma influência quase nula levando em consideração os resultados obtidos na simulação. Uma das prováveis influências deve-se ao barramento da PCH Salto Forqueta armazenar um volume de água pequeno, por isso a redução durante o evento nas cotas máximas foi de apenas 01 cm para o trecho da cidade de Marques de Souza. O barramento é utilizado para fins de geração de energia e não para o controle de enchentes, mas contribuiu para a redução de 01 cm durante a cota máxima do evento. Analisando não somente o trecho da cidade de Marques de Souza, notou-se que o barramento causou um pequeno retardo na chegada das vazões máximas. As vazões chegavam menores com o barramento, do que sem o barramento, e em volume mais constante.

Durante estudo das duas bacias, do rio Fão e do rio Forqueta, notou-se que a diferença entre as áreas de drenagem é de 492,86 Km² para o rio Fão, ocasionando uma maior vazão durante a enchente, em decorrência das chuvas no dia. Sempre que houver enchentes, com precipitações parecidas nas duas regiões, o volume de água do rio Fão será maior, devido à sua maior área de drenagem, pois as características dos dois rios são muito parecidas, tanto em relação aos solos, como a vegetação. O estudo mostrou que as vazões demoraram em média de 03 a 04 horas para iniciar o escoamento das bacias e chegar aos trechos de rio, considerando o início das precipitações.

Considerando a enchente de 2010, e, observando os valores apontados neste trabalho, medidas de segurança poderão ser tomadas, para evitar desastres futuros, como retirar a população das áreas ribeirinhas; informar a população das áreas mais baixas do rio com antecedência, evitando prejuízos maiores. Com isso a população pode retirar seus bens a tempo, e, evitar perdas maiores.

Calculando o tempo de escoamento do barramento até a cidade de Marques de Souza, notou-se que as vazões demoram em média 03 a 04 horas para chegar à cidade. Se houver uma comunicação prévia com a população é possível auxiliar com informações reais, mostrando à população possíveis riscos de inundação. O que dificultaria a previsão, com relação ao rio Fão, pois este não tem muitas informações, devido às dificuldades de comunicação em vários pontos do rio. Foram encontradas muitas dificuldades para obtenção de informações sobre a enchente, principalmente de dados de precipitação, pois em 2010 a única estação automática que media, de hora em hora, era a estação do IMNET Soledade/RS. Este é um ponto de melhorias para o estudo apresentado, se tivesse maiores informações e precipitações, de hora em hora, próximas às áreas estudadas.

REFERÊNCIAS

ALCÁNTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazard, vulnerability and prevention of natural disasters developing countries. **Geomorphology**, v. 47, p. 107-124, 2002.

ARAÚJO, P. R.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A. **Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial**. In Anais do XIII Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos, Belo Horizonte, novembro, 1999.

BALBI, D. A. F. **Metodologias para a elaboração de planos de ações emergenciais para inundações induzidas por barragens [manuscrito]: estudo de caso: Barragem de Peti – MG/ 2008**.

BAPTISTA, M. e Lara, M. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010. 480p.

BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E.M. **Precipitação**. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Cap. 5, Porto Alegre: Editora da UFRGS/ANRH, 2007. p.177-242.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia: Eletrobrás. **Diretrizes para projetos de PCH's**. [S.L.], Brasília, 2000.

BRUBACHER, J. P., OLIVEIRA, G. G.; GUASSELLI, L. A. **Identificação e análise de eventos extremos de precipitação na bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS**. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE DESASTRES NATURAIS, 1. 2012, Rio Claro. **Anais...** Rio Claro, 2012. p. 1-10, CD-ROM.

_____. **Suscetibilidade de enchentes a partir da análise das variáveis morfométricas na bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 1863-1870. 1 DVD.

CARPINEJAR, F.; **Beleza Interior**: os vigias da enchente em Marques de Souza. **Zero Hora**, Porto Alegre, 16 Abr. 2011. Disponível em: <<http://zh.clicrbs.com.br/rs/noticias/noticia/2011/04/beleza-interior-os-vigias-da-enchente-em-marques-de-souza-3277737.html>>. Acesso em 07 set. 2014.

CASTRO, A. L. C. **Manual de desastres naturais**. Brasília: Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Brasília. 2003. 174 p.

_____. **Glossário de defesa civil, estudos de riscos e medicina de desastres**. 2. ed. Brasília: Ministério do Planejamento e Orçamento, 1998. 283 p.

CERTEL. **Foto Barragem do Rio Forqueta**. Banco de dados da empresa. 2014. Il. color.

CHEMIN, Beatris F. **Manual da Univates para trabalhos acadêmicos**: planejamento, elaboração e apresentação. 3. ed. Lajeado: Univates, 2015. E-book. Disponível em: https://www.univates.br/editora-univates/media/publicacoes/110/pdf_110.pdf. Acesso em 03 agos. 2014.

CBDB. **Comitê Brasileiro de Grandes Barragens**. Disponível em: <<http://www.cbdb.org.br/5-69/Cadastro%20Nacional%20de%20Barragens>>. Acesso em 20 ago. 2014.

CHOW, V. T. ; Maidment, D. R.; Mays, L. W. (1987), **Applied Hydrology**, McGraw-Hill International editions 1987.

CHOW, V. T. **Open-Channel Hydraulics**. New York: McGRAW-HILL Book Company, 1959, 680p.

CIRILO, J.A.; COSTA, W.D. PONTES, M.; MAIA, A.Z. **Barragem subterrânea**: Um programa pioneiro em Pernambuco. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 4., Campina Grande, 1998. **Anais...** Campina Grande: ABRH, 1998. CD-ROM.

COLLISCHONN, W. **Simulação hidrológica em grandes bacias**. Porto Alegre: UFRGS, 2001. 194p. Tese Doutorado.

CUNGE, J. A. “On the subject of flood propagation computation method” (Muskingum method). **Journal of Hydraulic Research**, v. 7, no. 2, p. 205-230, 1969.

DAMÉ, R. C. F.; TEIXEIRA, C. F. A.; TERRA, V. S. S.; ROSSKOFF, J. L. C. Hidrograma de projeto em função da metodologia utilizada na obtenção da precipitação. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.14, n.1, p.46–54. 2010.

DEFESA CIVIL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Índice Pluviométrico dos municípios.** Disponível em: <http://www.defesacivil.rs.gov.br/SGDC/MPluviometros/PluviCons.asp>>. Acesso em 20 Mar. 2015.

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

ECKHARDT, R. R.; QUARTIERI, T.M.; ALVES, A.; SALVADOR, F. P.; MALHEIROS, M.G.; BIANCHINI, D.C. **Impactos econômicos das inundações do Vale do Taquari** – RS. In anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves. Artigo... Bento Gonçalves, RS, 2013.

ELETOBRAS. **Diretrizes para estudos e projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas.** 2000.

ENGENHARIA DISTRITO FEDERAL. Secretaria de Estado de Obras. **Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal.** Brasília: Concremat, 2009.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/taquariantas.asp>. Acessado em 20/10/2014.

FERREIRA, E. R.; BOTH, G.C. **Estudo das enchentes no Vale do Taquari: causas e propostas de controle.** In: MEEP, 4. Lajeado. Anais... Lajeado: UNIVATES, 2001. 171 p.

FERRI, G. A.; TOGNI, A. C. **A história da bacia hidrográfica Taquari-Antas.** Lajeado: Ed. da Univates, 2012, 375p.

FILHO. T. L. G. et al. **Pequenos aproveitamentos hidroelétricos.** (Soluções energéticas para a Amazônia). Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008. 216 p.

HASENACK, H.; WEBER, E. (Org.). **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000.** Série Geoprocessamento, 3. Porto Alegre: UFRGS-IB-Centro de Ecologia, 2010. DVD-ROM.

ICOLD/CIGB. **As barragens e a água do mundo.** Um livro educativo que explica como as barragens ajudam a administrar a água do mundo; Título original em inglês Dams & The World's Water. An Educational Book that Explains how Dams Help to Manage the World's Water Comissão Internacional de Grandes Barragens – ICOLD – International Commission on Large Dams CIGB – Commission Internationale des Grands Barrages, 2008.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sinopse do Censo Demográfico de 2010**. 2010. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=431010&search=rio-grande-do-sul|igrejinha|infograficos:-dados-gerais-do-municipio>>. Acesso em 20 Set. 2014.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Estações Automáticas/gráficos. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>>. Acesso em 20 Fev. 2015.

KEIFER, C. J.; CHU, H. H. Synthetic Storm Pattern for Drainage Design. **Journal of the Hydraulics Division**, 83, H Y 5, p. 1332-1/1332-25, 1957.

KIRPICH, Z.P. 1940. Time of concentration in small agricultural watersheds. **Civil Engineering**, v. 10, n. 6, p.362, 1940.

KOBIYAMA, M. et al. **Prevenção de desastres naturais**: conceitos básicos. Curitiba: Organic Trading, 2006. 124 p. Disponível em: <<http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/Livro%20>> Acesso em 30 set. 2014.

KOBIYAMA, M.; CHECCHIA, T.; SILVA, R.V.; SCHRÖDER, P.H.; GRANDO, A.; REGINATTO, G.M.P. In: **Papel da comunidade e da universidade no gerenciamento de desastres naturais**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1. Florianópolis, 2004. **Anais...** Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p. 834-846, CD-ROM.

JORNAL O INFORMATIVO DO VALE: **A natureza se Explica...** <http://lauramertenpeixoto.blogspot.com.br/2010/02/como-colaboracao-e-para-que-nao-fiquem.html> Acesso em: 05 fev. 2015.

LOU, R. F.; **Modelagem Hidrológica Chuva-vazão e Hidrodinâmica Aplicada na Bacia Experimental do Rio Piabanha**. Rio de Janeiro/RJ: UFRJ/COPPE, 2010. 174 p.

MME. **RESENHA ENERGÉTICA BRASILEIRA** - Exercício de 2013. Ministério de Minas e Energia.PDF. Acessado em <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/boletins_de_energia/boletins_atuais/03_-_Resenha_Energetica_Brasileira.pdf>. Acesso em: 26 out. 2014.

MARENGO, J.A. **Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil**. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável – FBDS. 2010. Disponível em: <<http://www.fbds.org.br/fbds/IMG/pdf/doc-504.pdf>>. Acesso em: 25 agosto. 2014.

MATTOS, Arthur; VILLELA, M. Swami. et al. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw do Brasil, 1975. 245 p.

MCCARTHY, G. T. **The unit hydrograph and flood routing**. Proc. Conf. of North Atlantic Division, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC, 1938.

MELLO, F. M.; **A história das barragens no Brasil, Séculos XIX, XX e XXI**: cinquenta anos do Comitê Brasileiro de Barragens. Rio de Janeiro: CBDB, 2011. 524 p.

MENESCAL, R. A.; VIEIRA, V. P. P. B.; OLIVEIRA, S. K. F. Terminologia para análise de risco e segurança de barragens. In: MENESCAL, R. A. (coord.) **A segurança de barragens e a gestão de recursos hídricos**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2005a., p. 31-49.

MENESCAL, R. A.; MIRANDA, N.; PITOMBEIRA, S.; PERINI, D. S. As barragens e as enchentes. In: MENESCAL, R. A. (coord.) **A segurança de barragens e a gestão de recursos hídricos**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2005b. p. 289-299.

MORAES, I. C.; CONCEIÇÃO, F. T.; CUNHA, C. M. L.; MORUZZI, R. B. Interferência do uso da terra nas inundações da área urbana do Córrego da Servidão, Rio Claro (SP). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.13, n.2, p.187-200, Abr-Jun 2012. MORUZZI, R. B.; CUNHA, C. M. L. da; BRAGA, R. A questão do escoamento superficial em áreas degradadas por processos erosivos lineares: a importância de uma estratégia de análise. **Engenharia Ambiental**. Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 2, p. 073-088. 2009.

OLIVEIRA, G. G. ; QUEVEDO, R. P. ; GUASSELLI, L. A. ; MENEZES, P. H. N. . **Expansão urbana nas áreas inundáveis do rio Paranhana no município de Igrejinha/RS**. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO- SBSR, 16, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. p. 920-927.

OLIVEIRA, G.G.. **Modelos para previsão, espacialização e análise das áreas inundáveis na bacia hidrográfica do rio Caí, RS**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Porto Alegre: UFRGS, 2010. 148f.

OLIVEIRA, G.G.; VALENTE, P.T.; GUASSELLI, L.A. **Espacialização das áreas de inundação nos municípios de Igrejinha e Três Coroas, bacia hidrográfica do rio Paranhana/RS**. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia. In: SINAGEO, 9, 2012, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRJ, 2012. CD-ROM.

PERIOS, R, M.; CARREGARO, B, J. Pequenas Centrais Hidrelétricas como Forma de Redução de Impactos Ambientais e Crises Energéticas. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrária e da Saúde..** v.6, n.2, Ano 2012. p.135-150.

PINTO, N. L. S. et al. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Blucher, 1976. 267p.

PORTO, Rodrigo M. **Hidráulica Básica**. 2. ed. São Paulo: EESC USP, 2003, 519 p.

_____. **Hidráulica Básica**. 1. ed. São Carlos: EESC/USP, 1998. 540 p.

ROSSATO, M. S. **Os Climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia**. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: UFRGS, 2011. 253f.

SALECKER, Julio Cesar. Hidroenergia, ambiente e sociedade. 2007. In: SALECKER, Julio Cesar. **Seminário de hidroenergia, ambiente e sociedade**. Lajeado: Univates, 2007.

SANTOS, E.; **Enchente no Rio Taquari** - janeiro de 2010. **Apena-ONG**. < [Http://estrela-rs-aepan.blogspot.com.br/2010/01/enchente-no-rio-taquari-janeiro-de-2010.html](http://estrela-rs-aepan.blogspot.com.br/2010/01/enchente-no-rio-taquari-janeiro-de-2010.html). => Acesso em 07 set. 2014.

SCS. **Urban Hydrology for Small Watersheds**. Washington:. U.S.Dept. Agr.(Technical Release), 1975.

TOMINAGA, L. K. et al. **Desastres naturais: Conhecer Para Prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 196p.

TUCCI CARLOS, M. N. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH/ Editora da Universidade/UFRGS, 2000. 943p.

TUCCI, C. E. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: ABRH/UFRGS. 1998. 669p.

TUCCI, C.E.M.; BERTONI, J.C. (Org.) **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. 150 p.

TUCCI, C.E.M; BRAGA, B.; SILVEIRA, A.,1989. Avaliação do Impacto da urbanização nas cheias urbanas. **RBE Caderno de Recursos Hídricos**. v.7, n.1, 1989.

TUCCI, C. E. M.. **Modelos Hidrológicos**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2005. 678p.

_____. RBRH. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 8 n.2, p. 195–199, Abr/Jun 2003.

_____. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Editora da Universidade,ABRH, Porto Alegre, 2000.

TUCCI.C.E.M., PORTO.R.L.L.BARROS.M.T. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH / Editora da Universidade/ UFRGS, 1995.

UFRGS. **Centro de ecologia laboratório de geoprocessamento**. Disponível em: <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/index.php?option=com_content&view=article&id=75&Itemid=29>. Acesso em: 12 out. 2014.

UNESCO. **World Water Development Report (WWDR4)**, 2012. Disponível em: <<http://www.unesco.org/new/en/naturalsciences/environment/water/wwap/wwdr/wwdr4-2012/>>. Acesso em 03 Set. 2013.

VALERIANO, M. M. **Dados topográficos**. In: Teresa G. Florenzano. (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. 1. ed. v.1, São Paulo: Oficina de textos, 2008. p.72-104.

_____. **TOPODATA: Guia de utilização de dados geomorfométricos locais**. São José dos Campos: INPE, 2008. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/data/TDkrig.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2014.

_____. **Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA**. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, GO, 2005. **Anais...** 2005. p. 1-8.

VARSHNEY, S, R. **Hydro-power Structures**: 2. ed. [s.l.]: Nem Chand, 1977. 680.

VIEGAS FILHO, J.S. **O Paradigma da Modelagem Orientada a Objetos Aplicada a Sistemas de Apoio à Decisão em Sistemas de Recursos Hídricos**. Tese (Doutorado) Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2 v. 2000. 559p.

WEBER, E.; Hasenack, H. (org.) **Base cartográfica digital do Rio Grande do Sul - escala 1:250.000**. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2007. 1 CD-ROM. (Série Geoprocessamento n.1). **ISBN 85-7727-039-4**.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Autorização de uso de documentos da Certel

Página 1 de 1

Teutônia, 13 de novembro de 2014

Ao
Sr. Rodrigo da Cas
Teutônia/RS

Assunto: Resposta a Solicitação de Anuência.

Prezado,

Em resposta a sua Solicitação de Anuência, de 11 de novembro de 2014, para utilização de dados técnicos e imagens da PCH Salto Forqueta, para o fim específico de elaboração de Trabalho de Conclusão de Curso, confirmamos a autorização à anuência solicitada.

Atenciosamente,


Eriqeo José Hennemann
Presidente


Julio Cesar Salecker
Diretor de Geração de Energia

ANEXOS

ANEXO A – Tabela cota vazão do vertedouro da PCH Salto Forqueta

PCH SALTO FORQUETA VAZÃO DO VERTEDOURO							
COTA	VAZÃO	COTA	VAZÃO	COTA	VAZÃO	COTA	VAZÃO
206.8	0.00	208.04	285.96	209.28	808.831	210.52	1485.92
206.81	0.21	208.05	289.43	209.29	813.728	210.53	1491.91
206.82	0.59	208.06	292.91	209.3	818.635	210.54	1497.92
206.83	1.08	208.07	296.41	209.31	823.551	210.55	1503.93
206.84	1.66	208.08	299.91	209.32	828.478	210.56	1509.95
206.85	2.32	208.09	303.43	209.33	833.414	210.57	1515.98
206.86	3.04	208.1	306.97	209.34	838.36	210.58	1522.01
206.87	3.84	208.11	310.52	209.35	843.316	210.59	1528.05
206.88	4.69	208.12	314.08	209.36	848.282	210.6	1534.11
206.89	5.59	208.13	317.66	209.37	853.257	210.61	1540.17
206.9	6.55	208.14	321.25	209.38	858.242	210.62	1546.23
206.91	7.56	208.15	324.85	209.39	863.236	210.63	1552.31
206.92	8.61	208.16	328.46	209.4	868.241	210.64	1558.39
206.93	9.71	208.17	332.09	209.41	873.255	210.65	1564.48
206.94	10.85	208.18	335.74	209.42	878.278	210.66	1570.58
206.95	12.03	208.19	339.39	209.43	883.311	210.67	1576.69
206.96	13.25	208.2	343.06	209.44	888.354	210.68	1582.81
206.97	14.52	208.21	346.74	209.45	893.406	210.69	1588.93
206.98	15.82	208.22	350.44	209.46	898.468	210.7	1595.06
206.99	17.15	208.23	354.15	209.47	903.539	210.71	1601.2
207	18.52	208.24	357.87	209.48	908.62	210.72	1607.35
207.01	19.93	208.25	361.60	209.49	913.71	210.73	1613.5
207.02	21.37	208.26	365.35	209.5	918.81	210.74	1619.66
207.03	22.84	208.27	369.11	209.51	923.919	210.75	1625.83
207.04	24.35	208.28	372.88	209.52	929.038	210.76	1632.01
207.05	25.89	208.29	376.67	209.53	934.166	210.77	1638.2
207.06	27.46	208.3	380.47	209.54	939.304	210.78	1644.39
207.07	29.06	208.31	384.28	209.55	944.45	210.79	1650.59
207.08	30.68	208.32	388.10	209.56	949.607	210.8	1656.8
207.09	32.34	208.33	391.94	209.57	954.772		
207.1	34.03	208.34	395.79	209.58	959.947		
207.11	35.75	208.35	399.65	209.59	965.131		
207.12	37.49	208.36	403.52	209.6	970.325		
207.13	39.26	208.37	407.41	209.61	975.528		
207.14	41.06	208.38	411.31	209.62	980.74		
207.15	42.88	208.39	415.22	209.63	985.961		
207.16	44.73	208.4	419.14	209.64	991.192		
207.17	46.61	208.41	423.08	209.65	996.431		
207.18	48.51	208.42	427.02	209.66	1001.68		

207.19	50.44	208.43	430.98	209.67	1006.94
207.2	52.39	208.44	434.96	209.68	1012.21
207.21	54.37	208.45	438.94	209.69	1017.48
207.22	56.37	208.46	442.94	209.7	1022.77
207.23	58.40	208.47	446.95	209.71	1028.06
207.24	60.44	208.48	450.97	209.72	1033.37
207.25	62.52	208.49	455.00	209.73	1038.68
207.26	64.61	208.5	459.04	209.74	1044
207.27	66.73	208.51	463.10	209.75	1049.33
207.28	68.87	208.52	467.17	209.76	1054.67
207.29	71.04	208.53	471.25	209.77	1060.02
207.3	73.22	208.54	475.34	209.78	1065.38
207.31	75.43	208.55	479.44	209.79	1070.75
207.32	77.66	208.56	483.56	209.8	1076.12
207.33	79.91	208.57	487.69	209.81	1081.51
207.34	82.18	208.58	491.82	209.82	1086.9
207.35	84.47	208.59	495.97	209.83	1092.31
207.36	86.79	208.6	500.14	209.84	1097.72
207.37	89.12	208.61	504.31	209.85	1103.14
207.38	91.48	208.62	508.50	209.86	1108.57
207.39	93.86	208.63	512.69	209.87	1114.01
207.4	96.25	208.64	516.90	209.88	1119.45
207.41	98.67	208.65	521.12	209.89	1124.91
207.42	101.10	208.66	525.35	209.9	1130.38
207.43	103.56	208.67	529.59	209.91	1135.85
207.44	106.04	208.68	533.85	209.92	1141.33
207.45	108.53	208.69	538.11	209.93	1146.82
207.46	111.04	208.7	542.39	209.94	1152.32
207.47	113.58	208.71	546.68	209.95	1157.83
207.48	116.13	208.72	550.98	209.96	1163.35
207.49	118.70	208.73	555.29	209.97	1168.88
207.5	121.29	208.74	559.61	209.98	1174.41
207.51	123.90	208.75	563.94	209.99	1179.96
207.52	126.53	208.76	568.28	210	1185.51
207.53	129.17	208.77	572.64	210.01	1191.07
207.54	131.83	208.78	577.00	210.02	1196.64
207.55	134.52	208.79	581.38	210.03	1202.22
207.56	137.21	208.8	585.77	210.04	1207.81
207.57	139.93	208.81	590.17	210.05	1213.4
207.58	142.67	208.82	594.58	210.06	1219.01
207.59	145.42	208.83	599.00	210.07	1224.62
207.6	148.19	208.84	603.43	210.08	1230.24
207.61	150.98	208.85	607.87	210.09	1235.87

207.62	153.78	208.86	612.32	210.1	1241.51
207.63	156.60	208.87	616.79	210.11	1247.16
207.64	159.44	208.88	621.26	210.12	1252.82
207.65	162.30	208.89	625.75	210.13	1258.48
207.66	165.17	208.9	630.24	210.14	1264.15
207.67	168.06	208.91	634.75	210.15	1269.84
207.68	170.96	208.92	639.27	210.16	1275.53
207.69	173.89	208.93	643.80	210.17	1281.22
207.7	176.83	208.94	648.34	210.18	1286.93
207.71	179.78	208.95	652.89	210.19	1292.65
207.72	182.75	208.96	657.45	210.2	1298.37
207.73	185.74	208.97	662.02	210.21	1304.1
207.74	188.74	208.98	666.60	210.22	1309.84
207.75	191.76	208.99	671.19	210.23	1315.59
207.76	194.80	209	675.79	210.24	1321.35
207.77	197.85	209.01	680.41	210.25	1327.12
207.78	200.92	209.02	685.03	210.26	1332.89
207.79	204.00	209.03	689.66	210.27	1338.67
207.8	207.10	209.04	694.31	210.28	1344.46
207.81	210.21	209.05	698.96	210.29	1350.26
207.82	213.34	209.06	703.63	210.3	1356.07
207.83	216.49	209.07	708.30	210.31	1361.89
207.84	219.65	209.08	712.99	210.32	1367.71
207.85	222.83	209.09	717.68	210.33	1373.54
207.86	226.02	209.1	722.39	210.34	1379.38
207.87	229.22	209.11	727.11	210.35	1385.23
207.88	232.44	209.12	731.83	210.36	1391.09
207.89	235.68	209.13	736.57	210.37	1396.96
207.9	238.93	209.14	741.32	210.38	1402.83
207.91	242.19	209.15	746.07	210.39	1408.71
207.92	245.47	209.16	750.84	210.4	1414.6
207.93	248.77	209.17	755.62	210.41	1420.5
207.94	252.08	209.18	760.41	210.42	1426.41
207.95	255.40	209.19	765.20	210.43	1432.32
207.96	258.74	209.2	770.01	210.44	1438.24
207.97	262.10	209.21	774.83	210.45	1444.17
207.98	265.46	209.22	779.66	210.46	1450.11
207.99	268.84	209.23	784.49	210.47	1456.06
208	272.24	209.24	789.34	210.48	1462.01

208.01	275.65	209.25	794.20	210.49	1467.98
208.02	279.07	209.26	799.07	210.5	1473.95
208.03	282.51	209.27	803.94	210.51	1479.93

COTA é a altitude em metros do nível do mar

VAZÃO é a quantidade de água em m3/s

Fonte: Certel, 2014 (banco de dados da empresa)

ANEXO B – Tabela cota volume da PCH Salto Forqueta

PLANILHA COTA X ÁREA X VOLUME DO RESERVATÓRIO		
PCH SALTO FORQUETA - RIO FORQUETA - PUTINGA- RS		
COTA	ÁREA (m²)	VOLUME (m³)
204.00	344,000.00	2,270,000.00
204.20	349,500.00	2,274,000.00
204.40	354,600.00	2,430,000.00
204.60	359,800.00	2,495,000.00
204.80	364,900.00	2,570,000.00
205.00	370,100.00	2,650,000.00
205.20	374,000.00	2,730,000.00
205.40	377,800.00	2,810,000.00
205.60	381,700.00	2,890,000.00
205.80	385,500.00	2,974,000.00
206.00	389,400.00	3,057,000.00
206.20	393,200.00	3,141,000.00
206.40	397,100.00	3,226,000.00
206.60	400,900.00	3,311,000.00
206.80	404,800.00	3,396,000.00
207.00	408,600.00	3,482,000.00
207.20	412,500.00	3,568,000.00
207.40	416,400.00	3,653,000.00
207.60	420,200.00	3,738,000.00
207.80	424,100.00	3,822,000.00
208.00	427,900.00	3,906,000.00
208.20	431,700.00	3,989,000.00
208.40	435,600.00	4,071,000.00
208.60	439,500.00	4,153,000.00
208.80	443,300.00	4,234,000.00
209.00	447,200.00	4,317,000.00
209.20	451,000.00	4,399,000.00
209.40	454,900.00	4,481,000.00
209.60	458,800.00	4,567,000.00
209.80	462,600.00	4,652,000.00
210.00	466,500.00	4,742,000.00
210.20	471,500.00	4,834,000.00
210.40	476,400.00	4,930,000.00
210.60	481,400.00	5,029,000.00
210.80	486,400.00	5,131,000.00

Fonte: Certel, 2014 (banco de dados da empresa)