



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES  
CURSO DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO

**APRIMORAMENTO DO SISTEMA DE PREVISÃO DE ENCHENTES**

Nataniel Rabaioli

Lajeado, junho de 2013



Nataniel Rabaioli

## **APRIMORAMENTO DO SISTEMA DE PREVISÃO DE ENCHENTES**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Centro Universitário UNIVATES, como parte dos requisitos para a obtenção do título de bacharel em Engenharia da Computação.

Orientador: Ms. Marcelo de Gomensoro Malheiros

Lajeado, junho de 2013

Nataniel Rabaioli

## **APRIMORAMENTO DE SISTEMA DE PREVISÃO DE ENCHENTES**

A Banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia da Computação:

Prof. Marcelo de Gomensoro Malheiros – orientador  
Centro Universitário UNIVATES

Prof. Rafael Rodrigo Eckhardt  
Centro Universitário UNIVATES

Prof. Guilherme Garcia de Oliveira  
Centro Universitário UNIVATES

Lajeado, junho de 2013



Dedico este trabalho aos meus pais, irmão e namorada, pelo apoio oferecido ao longo de minha vida e principalmente durante o desenvolvimento deste projeto.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Nilson Antônio Rabaioli e Oneide Maria Rabaioli, por toda uma vida de ensinamentos e oportunidades. À meu irmão, Juliano Rabaioli, pelo incentivo.

À minha namorada, Jécica Schaffer, pelo carinho e, principalmente, compreensão.

Ao colega Marcos de Conto, pelo fornecimento de materiais e detalhes do seu trabalho.

Aos colegas do NTI da Univates, pelo incentivo e ajuda na busca de soluções.

Em especial ao professor e orientador Marcelo de Gomensoro Malheiros, pela disposição e auxílio oferecidos durante o desenvolvimento deste trabalho.

## RESUMO

As inundações são um dos principais e mais devastadores fenômenos naturais, e que frequentemente atingem a região do Vale do Taquari. A utilização de modelos hidrológicos tem se mostrado importante, provendo previsões com precisão e antecedência adequadas. A validade desta abordagem tem sido comprovada por estudos desenvolvidos na região, como os realizados por Ferreira (2007), Eckhardt (2008) e De Conto (2009). Para a obtenção de resultados ainda melhores é necessário aperfeiçoar os modelos hidrológicos e obter fontes de dados mais confiáveis. É justamente esta a motivação deste trabalho. Através do aprimoramento do sistema desenvolvido anteriormente por De Conto (2009), este trabalho permite a generalização dos modelos hidrológicos, a criação de uma interface administrativa, o uso de mais fontes de coleta de dados, a geração de relatórios e a visualização de dados intermediários de entrada e saída para os pontos de controle de uma simulação, através de uma aplicação *web*. O sistema foi testado utilizando dados extraídos do *site* da Defesa Civil, alcançando resultados nas simulações próximos aos dos trabalhos anteriores. Entende-se que a aplicação desenvolvida permite explorar e refinar os modelos de simulação hidrológica, além de gerenciar as séries históricas coletadas, provendo uma ferramenta de apoio importante para o processo de previsão de enchentes.

**Palavras-chave:** Modelos hidrológicos. Sistema *web*. Previsão de enchentes.

## ABSTRACT

Floods are one of the leading and most devastating natural phenomena, and often affect the Taquari Valley. The use of mathematical models has been shown to be quite important, providing accurate and timely forecasts. The validity of this approach has been proven by studies conducted in the region, such as those done by Ferreira (2007), Eckhardt (2008) and De Conto (2009). To obtain even better results it is necessary to improve the hydrological models and to use more reliable data sources. This is exactly the motivation of this work. Through the improvement of the system previously developed by De Conto (2009), this work generalizes the use of hydrological models, the creation of an administrative interface, the use of more data sources, the generation of reports and the visualization of intermediate input and output for each conduct during a simulation, through a web application. The system was tested using data from the site of the Civil Defense, reaching results close to those in the simulations of the previous work. It is understood that the developed application enables the exploration and refinement of the hydrologic simulation models, also managing the data collected, providing an important support tool for the flood forecasting process.

**Keywords:** Hydrological models. Web system. Floods forecast.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo hidrológico.....	17
Figura 2 – Pluviômetro.....	19
Figura 3 – Pluviógrafo.....	19
Figura 4 – Vista plana típica bacia hidrográfica.....	21
Figura 5 - Panorama dos desastres naturais no Brasil.....	22
Figura 6 – Discretização das bacias hidrológicas.....	28
Figura 7 – Hidrograma Unitário Triangular.....	29
Figura 8 – Bacia Hidrológica Rio Taquari-Antas.....	34
Figura 9 – Relevo da bacia Taquari-Antas.....	35
Figura 10 – Estrutura de diretórios e arquivos da aplicação.....	40
Figura 11 – Modelo ER da parte administrativa do sistema.....	42
Figura 12 – Modelo ER da parte específica da aplicação.....	42
Figura 13 – Representação das sub-bacias, pontos de controle e trechos de rio no software IPHS.....	46
Figura 14 – Estrutura da interface da aplicação.....	49
Figura 15 – Exemplo de grid e formulário de busca.....	50
Figura 16 – Cadastro de grupos.....	51
Figura 17 – Cadastro de usuários.....	52
Figura 18 – Cadastro de módulos de importação.....	53
Figura 19 – Grid de séries históricas.....	54
Figura 20 – Cadastro de séries históricas.....	54
Figura 21 – Cadastro de sub-bacias, aba de parâmetros do modelo SCS.....	55
Figura 22 – Cadastro de sub-bacias, aba de séries históricas.....	56
Figura 23 – Cadastro de trechos de rio.....	56
Figura 24 – Cadastro de pontos de controle.....	57
Figura 25 – Formulário de simulação.....	57
Figura 26 – Exibição dos resultados da simulação para cada ponto de controle.....	58
Figura 27 – Interface antiga do sistema.....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Probabilidade de ocorrência e período de retorno de diversos níveis de inundação na cidade de Estrela.....	25
Tabela 2 – Classes de uso do solo e cobertura vegetal da bacia Taquari-Antas.....	34
Tabela 3 – Comparação de dados simulados x observados.....	61

## LISTA DE ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional das Águas
CETEC	Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
CIH	Centro de Informações Hidrometeorológicas
CSV	Comma-Separated Values
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
HTML	Hypertext Markup Language
HUT	Hidrograma Unitário Triangular
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MNT	Modelo Numérico de Terreno
MVC	Model View Controller
PHP	PHP Hypertext Preprocessor
SCS	Soil Conservation Service
SPAE	Sistema de Previsão e Alerta de Enchentes

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>15</b>
2.1	Hidrologia.....	15
2.2	Ciclo hidrológico.....	16
2.3	Precipitação.....	17
2.3.1	Medida das precipitações.....	18
2.3.2	Processamento dos dados pluviométricos.....	19
2.4	Bacias hidrográficas.....	20
2.5	Escoamento superficial.....	21
2.6	Inundações.....	22
2.6.1	Medidas de prevenção contra inundações.....	23
2.6.2	Previsão de vazões.....	24
2.7	Modelos hidrológicos.....	25
2.7.1	Modelo de transformação chuva-vazão SCS.....	27
2.7.2	Modelo de escoamento superficial Muskingun-Cunge.....	30
<b>3</b>	<b>TRABALHOS RELACIONADOS.....</b>	<b>33</b>
3.1	Bacia Taquari-Antas.....	33
3.2	Inundações no Vale do Taquari.....	36
3.3	Enchentes nas demais localidades.....	37
<b>4</b>	<b>IMPLEMENTAÇÃO.....</b>	<b>39</b>
4.1	Estrutura da aplicação.....	40
4.1.1	Modelos ER.....	42
4.2	Atualização dos dados.....	43
4.3	Administração do sistema.....	44
4.4	Cadastros para simulação.....	45
4.5	Simulação.....	46
4.5.1	Obtenção da data de simulação.....	47
4.5.2	Cálculo de médias de precipitação.....	47
4.5.3	Transformação chuva-vazão com SCS.....	47
4.5.4	Escoamento superficial com Muskingun-Cunge.....	48
4.5.5	Pontos de controle.....	48
<b>5</b>	<b>INTERFACE.....</b>	<b>49</b>
5.1	Sistema.....	51
5.2	Dados.....	53

5.3 Simulação.....	55
6 ANÁLISE DE RESULTADOS.....	59
7 CONCLUSÃO.....	63
REFERÊNCIAS .....	65



## 1 INTRODUÇÃO

As inundações são um dos principais e mais destrutivos fenômenos naturais, que ocorrem devido a precipitações intensas por períodos prolongados (RECKZIEGEL, 2007). Um estudo realizado por Santos (2007) indicou que as inundações representaram 58% dos desastres naturais ocorridos no Brasil entre os anos de 2000 e 2007.

Na região do Vale do Taquari as enchentes são fenômenos frequentes, ocasionadas por precipitações volumosas e por características da bacia, representando um grande transtorno ao meio ambiente e especialmente à população ribeirinha (SALINI, 2011).

Como forma de prever os eventos de inundação, a utilização de modelos hidrológicos tem se mostrado bastante eficiente. Estes modelos apresentam grande versatilidade e facilidade na modificação de sua lógica (TUCCI, 2005). Entre os mais utilizados podemos destacar o SCS (Soil Conservation Service) e o Muskingum-Cunge.

As enchentes vêm ganhando atenção especial das autoridades e população no geral, inclusive no Vale do Taquari, onde diversos estudos foram e vêm sendo desenvolvidos. Recentemente, a Univates esteve envolvida no projeto SPAE (Sistema de Previsão e Alerta de Enchentes), que consistia na utilização de modelos matemáticos para estimar o nível do rio Taquari com algumas horas de antecedência. Eckhardt (2008), também utilizando modelos matemáticos,

desenvolveu um modelo cartográfico para previsão e simulação da área urbana inundável da cidade de Lajeado. De Conto (2009) continuou este trabalho e desenvolveu um sistema *web* de coleta diária dos dados das precipitações ao longo da bacia do Rio Taquari, utilizando os modelos hidrológicos SCS e Muskingum-Cunge para simulação e exibindo, em caso de enchente, a área inundável de Lajeado.

Durante a revisão bibliográfica constatou-se a necessidade de aperfeiçoamento na configuração dos modelos hidrológicos utilizados e, principalmente, da utilização de fontes de dados, como precipitação e nível, mais precisas e com atualizações mais frequentes. Além disso, também verificou-se a dificuldade na alteração dos parâmetros das simulações, não havendo uma interface para este fim.

Buscando atender às necessidades encontradas, o objetivo principal deste trabalho foi aperfeiçoar o sistema proposto por De Conto (2009) para exibir, de forma antecipada e precisa, os dados referentes à vazão do rio em diversos pontos da bacia, além de possibilitar as alterações dos parâmetros dos modelos hidrológicos e o gerenciamento do sistema através de interfaces. Para isso, o sistema contempla os seguintes itens: aumento na frequência de atualização dos dados e na utilização de mais fontes; generalização dos modelos hidrológicos; consulta e alteração de parâmetros da bacia e fontes de dados; geração de relatórios; possibilidade de simulação através de dados históricos; e visualização de dados intermediários de entrada e saída para cada trecho da simulação.

Para facilitar o entendimento, este trabalho foi dividido em capítulos. O Capítulo 2 apresenta o detalhamento dos principais conceitos abordados ao longo do projeto, devidamente embasados na literatura. O Capítulo 3 descreve trabalhos relacionados ao assunto desta proposta. As informações referentes ao detalhes da implementação da aplicação são apresentados no Capítulo 4. O Capítulo 5 demonstra a interface do sistema, detalhando os principais cadastros, A análise dos resultados obtidos com a utilização do software é realizada no Capítulo 6. Por fim, o Capítulo 7 apresenta as conclusões do trabalho.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Para um melhor entendimento dos assuntos tratados neste documento, no presente capítulo serão detalhados conceitos e termos relacionados ao mesmo.

### 2.1 Hidrologia

Hidrologia é a ciência que trata do estudo da água na natureza. Abrange, principalmente, propriedades, fenômenos e distribuição da água na atmosfera, na superfície da Terra e no subsolo (PINTO et al., 2003). A hidrologia de uma região é fortemente influenciada por sua geografia física.

Em geral, o estudo da Hidrologia compreende as seguintes etapas: coleta de dados, análise destes dados para estabelecimento de relações e, finalmente, aplicação dos conhecimentos para solução de problemas práticos (GARCEZ; ALVAREZ, 2002).

A fase de coleta de dados é muito importante para a Hidrologia, pois ela baseia-se, principalmente, em elementos observados e medidos no campo (PINTO et al., 2003). Por isso, o estabelecimento de postos de coleta e seu funcionamento ininterrupto são essenciais para um estudo hidrológico confiável.

## 2.2 Ciclo hidrológico

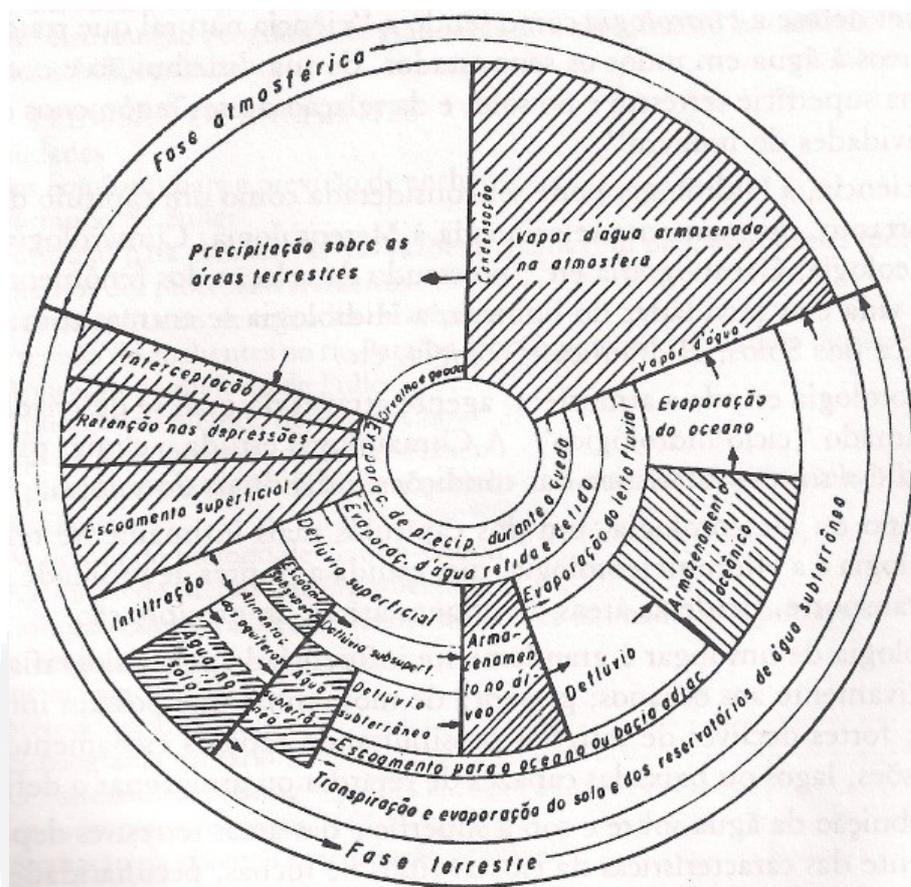
O Ciclo hidrológico pode ser definido como o comportamento natural da água desde seu ponto de partida na atmosfera, passando por transformações de estado em seu percurso à Terra até retornar novamente à atmosfera através da evaporação (GARCEZ; ALVAREZ, 2002).

Segundo Garcez; Alvarez (2002), o ciclo hidrológico pode ser dividido em quatro etapas principais:

- a) precipitações atmosféricas (chuva, granizo, neve);
- b) escoamentos subterrâneos (infiltração, águas subterrâneas);
- c) escoamentos superficiais (torrentes, rios e lagos); e
- d) evaporação (na superfície das águas e no solo) e transpiração dos vegetais e animais.

Dados coletados nos Estados Unidos apontam que 25% do volume total de precipitação que atinge o solo alcança os oceanos através do escoamento superficial, enquanto 75% retornam à atmosfera por evaporação. É a evaporação que mantém o equilíbrio do ciclo hidrológico (PINTO et al., 2003). Os detalhes do ciclo hidrológico podem ser observados na Figura 1.

Figura 1 – Ciclo hidrológico



Fonte: Pinto et al. (2003).

### 2.3 Precipitação

Precipitação é a água proveniente do vapor de água da atmosfera que cai sobre a superfície da Terra, seja em forma de chuva, granizo, neve, geada ou sereno (GRIBBIN, 2009). As precipitações assumem o importante papel de elo de ligação entre os fenômenos meteorológicos e o escoamento superficial, amplamente explorado neste trabalho (GARCEZ; ALVAREZ, 2002).

Para Pinto et al. (2003), a água de rios e lagos pode ser considerada como resíduo de precipitações.

Ainda, segundo o autor, as precipitações são classificadas em três tipos:

- a) frontais: separam duas massas de ar de características diferentes;

- b) orográficas: ocorrem quando o ar transpõe montanhas; e
- c) convectivas: são independentes de frentes, provocadas por diferenças de temperaturas entre camadas vizinhas da atmosfera. Têm curta duração e forte precipitação.

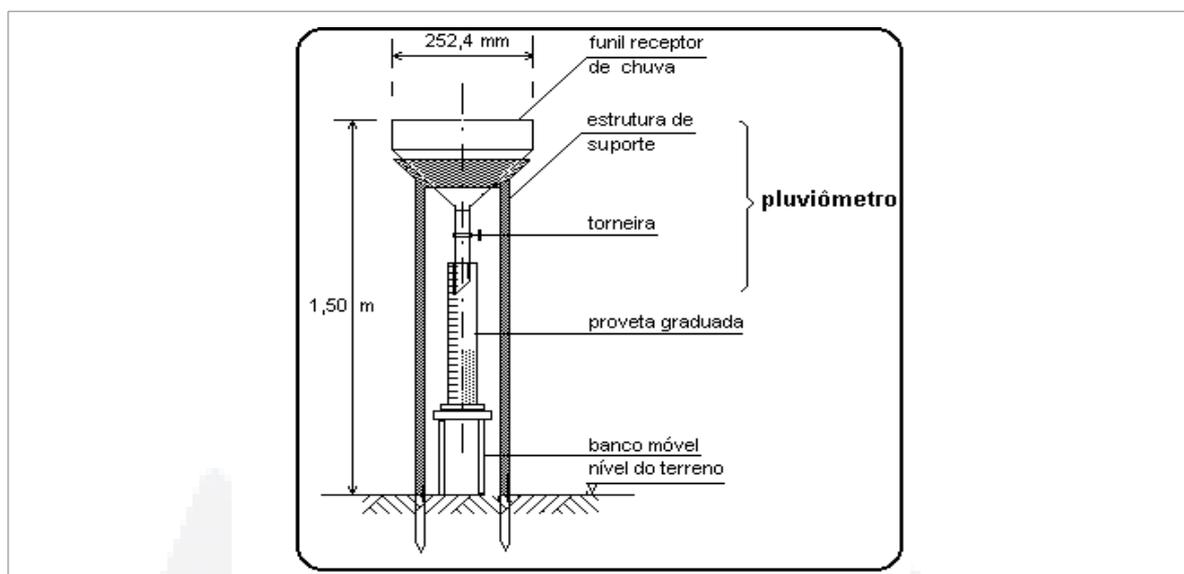
Segundo Garcez e Alvarez (2002), os dois primeiros tipos combinam longa duração, intensidade baixa a moderada, homogeneidade, além de atingirem grandes áreas. Já o terceiro tipo caracteriza-se por curta duração e forte precipitação, atingindo pequenas áreas. Por estas características, os dois primeiros tipos são considerados no controle e prevenção das cheias, enquanto que o primeiro tipo é considerado para cálculo de bueiros ou galerias de águas pluviais.

### **2.3.1 Medida das precipitações**

Geralmente, a medida das precipitações é simples, sendo calculada através do volume de água acumulado sobre uma superfície de área determinada. Dois equipamentos são mais utilizados na realização das medições: os pluviômetros e os pluviógrafos (GARCEZ; ALVAREZ, 2002).

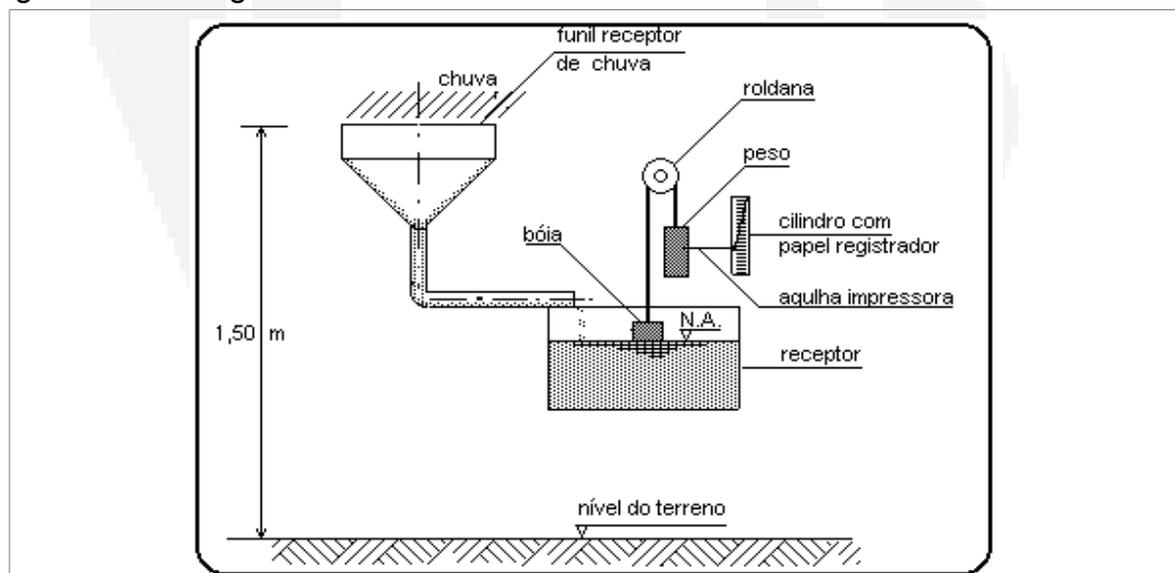
Os pluviômetros são observados de uma a duas vezes por dia, em horários determinados, indicando a altura pluviométrica diária, enquanto que os pluviógrafos registram continuamente as precipitações, fornecendo também informações sobre a intensidade da chuva (variação da altura da chuva com o tempo). Os resultados obtidos com o uso do pluviógrafo são mais importantes hidrológicamente, mas o alto preço de aquisição e dificuldade de operação tornam seu uso restrito (PINTO et. al., 2003). As figuras 2 e 3 apresentam os aparelhos mencionados.

Figura 2 – Pluviômetro



Fonte: Garcez; Alvarez (2002).

Figura 3 – Pluviógrafo



Fonte: Garcez; Alvarez (2002).

### 2.3.2 Processamento dos dados pluviométricos

Antes de utilizar os dados coletados, é necessário realizar algumas análises para verificar a confiabilidade dos valores obtidos (GARCEZ; ALVAREZ, 2002). Primeiramente, procura-se detectar erros grosseiros, como marcações em datas

inexistentes, marcações duplicadas ou quantidades absurdas (PINTO et al., 2003). Em alguns casos, pode haver dias ou intervalos sem marcação. Quando isso ocorre, as lacunas devem ser preenchidas e em geral adota-se o procedimento a seguir:

a) Supõe-se que a precipitação ( $P_x$ ) seja proporcional às precipitações nas estações vizinhas A, B e C num mesmo período, que serão representadas por  $P_a$ ,  $P_b$  e  $P_c$ .

b) Supõe-se que o coeficiente de proporcionalidade seja a relação entre a média  $M_x$  e as médias  $M_a$ ,  $M_b$  e  $M_c$ , no mesmo intervalo de anos.

c) Adota-se como valor  $P_x$  a média entre os três valores calculados a partir de A, B e C.

Este procedimento resulta na Equação 1:

$$P_x = \frac{1}{3} \left( \frac{M_x}{M_a} P_a + \frac{M_x}{M_b} P_b + \frac{M_x}{M_c} P_c \right) \quad (1)$$

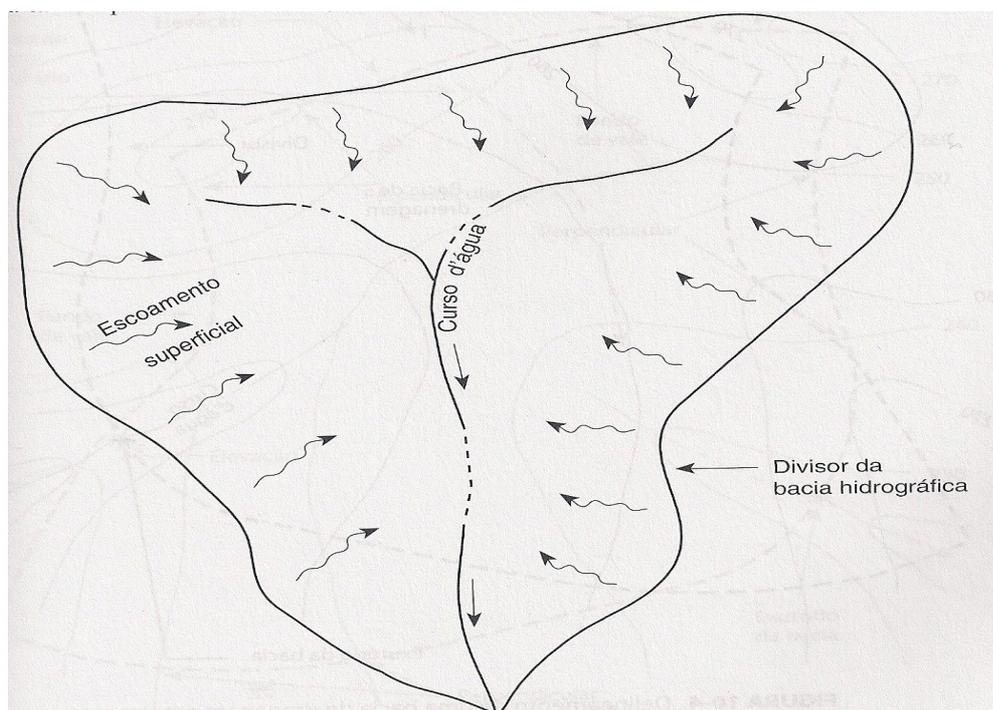
Segundo Pinto et. al. (2003), para esta verificação utiliza-se a curva dupla cumulativa, que pode ser obtida através da comparação dos totais anuais de vários postos de uma região homogênea com a média aritmética de todos os postos. Diferenças bruscas indicam anormalidades, que podem ser corrigidas através da Equação 2:

$$P_a = \frac{M_a}{M_o} P_o \quad (2)$$

## 2.4 Bacias hidrográficas

Garcez e Alvarez (2002) descrevem bacia hidrográfica como uma área definida e fechada em um ponto do curso de água, através do qual a vazão afluente pode ser descarregada. A Figura 4 mostra uma típica bacia hidrográfica, onde toda chuva incidente sobre ela segue seu caminho até o curso de água, enquanto que a chuva que cai fora de suas delimitações utiliza um caminho distinto para outro curso de água.

Figura 4 – Vista plana típica bacia hidrográfica



Fonte: Gribbin (2009).

## 2.5 Escoamento superficial

Quando a intensidade da precipitação ultrapassa a capacidade de infiltração do solo, a água escoá superficialmente. Para Pinto et al. (2003), escoamento superficial é o segmento do ciclo hidrológico que estuda o deslocamento das águas na superfície da Terra, originado principalmente pelas precipitações. Seu comportamento depende basicamente da cobertura da bacia, declividade e sistema de drenagem. No meio rural o escoamento sofre influência da cobertura vegetal, enquanto que no meio urbano é influenciado diretamente por ações humanas, através de sistemas de drenagem e superfícies impermeáveis, por exemplo.

O volume de água que escoá vai aumentando de acordo com o nível de precipitação e diminuindo conforme a infiltração do solo, até atingir um estado de equilíbrio. Inicialmente o movimento das águas escoadas segue declives e obstáculos do terreno, definindo o movimento das águas livres (PINTO et al., 2003). À medida que o escoamento vai atingindo partes mais baixas do terreno, formam-se canalículos conhecidos como microrredes de drenagem. Com o tempo esses

canalículos tornam-se maiores e formam torrentes, culminando em cursos de água propriamente ditos.

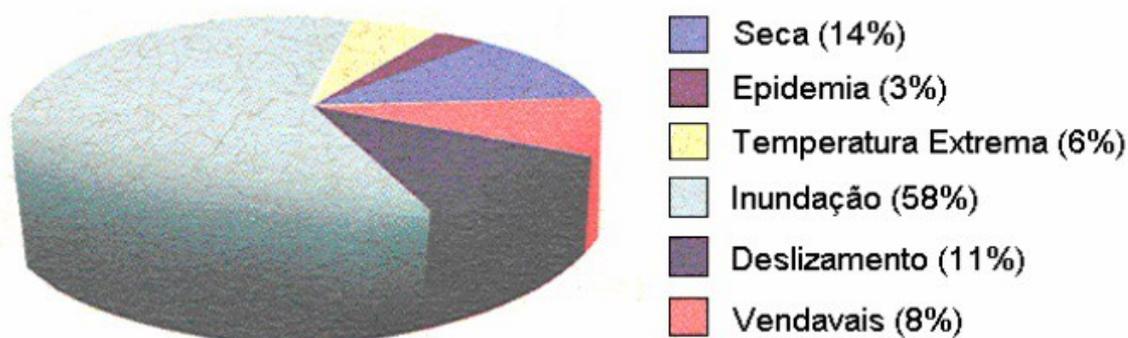
## 2.6 Inundações

As inundações são um dos principais e mais destrutivos fenômenos naturais, caracterizadas pela elevação acentuada do nível dos rios, extravasando suas margens e alagando as planícies adjacentes (RECKZIEGEL, 2007).

Segundo Reckziegel (2007), foram registradas, entre os anos de 1980 e 2005, 1.258 ocorrências de desastres desencadeados por inundações em municípios do estado do Rio Grande do Sul. Foram homologados 571 decretos de Situação de Emergência e 42 de Estado de Calamidade Pública em decorrência de eventos de enchentes.

Para Santos (2007) as inundações representaram 58% dos desastres naturais ocorridos no Brasil entre os anos de 2000 e 2007. A Figura 5 demonstra essa situação.

Figura 5 - Panorama dos desastres naturais no Brasil



Fonte: Santos (2007).

Segundo Castro (2003), as inundações estão classificadas em quatro tipos: enchentes ou inundações graduais, enxurradas ou inundações bruscas, alagamento e inundações litorâneas.

Nas enchentes, a elevação das águas ocorre de forma lenta e previsível, mantendo-se elevadas por algum tempo e escoando gradualmente. Estão relacionadas a períodos prolongados de chuvas, atingindo principalmente grandes bacias e rios de planícies (CASTRO, 2003).

As enxurradas são definidas pelo autor como resultado de chuvas intensas e concentradas, com ascensão e descenso muito rápidos, dificultando sua previsão e provocando danos mais intensos que os alagamentos. O autor explica a diferença básica entre enchente e enxurrada no tempo em que a água leva para extravasar. Se o tempo for curto o evento é classificado como enxurrada, senão é classificada como inundação.

Ainda, segundo Castro (2003), alagamento é o acúmulo de águas nas ruas e perímetros urbanos, ocasionados por fortes precipitações e insuficiência na rede coletora. Neste caso, o extravasamento depende muito mais da ineficiência da drenagem urbana, dificultando a vazão, do que da precipitação local.

Para finalizar o autor define que as inundações litorâneas são provocadas pelo aumento do nível das águas do mar, ocasionados por diversos fatores como tempestades marinhas, ressacas e ciclones.

### **2.6.1 Medidas de prevenção contra inundações**

Para Tucci (2003), as ações para prevenção e controle de inundações podem ser classificadas em duas categorias: estruturais e não estruturais. As medidas estruturais são aquelas que modificam o sistema fluvial para evitar os prejuízos causados pelas enchentes. Podem ser extensivas, quando atuam na bacia a fim de diminuir a relação entre precipitação e vazão, ou intensivas, quando agem diretamente nos cursos de água alterando a velocidade/direção do escoamento. Geralmente são caracterizadas por obras de engenharia onerosas e complexas (TUCCI, 2003).

As medidas não-estruturais atuam na redução dos prejuízos causados pelas

enchentes, e não em sua erradicação, resultando em um baixo custo de implantação quando comparadas às medidas estruturais. São medidas que buscam um melhor convívio da população com esses eventos, dentre as quais podemos destacar: construções à prova de inundações, seguros contra inundações e previsão do tempo e alertas de enchentes (TUCCI, 2003).

O autor afirma que o controle de inundações ideal é alcançado com a utilização de medidas estruturais e não-estruturais em conjunto, possibilitando diminuição de perdas e uma convivência pacífica com os rios.

### **2.6.2 Previsão de vazões**

A previsão de vazões representa uma importante ferramenta na minimização dos impactos das inundações (SILVA, 2006). Para Tucci (2005), esta previsão pode ser classificada em curto e longo prazo.

As previsões de longo prazo geralmente são utilizadas nas medidas estruturais, sob a forma de obras de contenção ou drenagem, por exemplo. Essas previsões determinam os eventos extremos e o período de retorno das vazões associadas (TUCCI, 2005).

As previsões de curto prazo podem ser contínuas ou eventuais. Contínua quando é realizada continuamente ao longo do tempo. Nas previsões eventuais são definidas condições específicas para realização das previsões, como cheias e estiagens por exemplo (SILVA, 2006).

Ainda segundo Silva (2006), as previsões de vazões em tempo real podem ser realizadas utilizando-se de informações referentes à previsão de precipitação, precipitação conhecida, vazão de montante ou na combinação dos dois últimos. Para o cálculo das previsões são utilizados modelos matemáticos. Esses modelos podem ser alimentados com dados horários, preferencialmente, no caso de inundações, ou dados diários.

Para Tucci (2005), a previsão das inundações em tempo real é classificada de acordo com a antecedência desejada e as características da bacia hidrográfica do local de interesse. Segundo o autor, as bacias pequenas podem utilizar somente como opção a previsão com base na precipitação ocorrida. Já nas grandes bacias também pode ser utilizada a previsão com base na observação do nível a montante. O autor afirma que algumas horas de antecedência são suficientes para minimizar os danos causados pelas inundações, atuando sobre seus efeitos.

A Tabela 1 apresenta o período de retorno e a probabilidade de ocorrência de diversos níveis de inundação para a cidade de Estrela.

Tabela 1 - Probabilidade de ocorrência e período de retorno de diversos níveis de inundação na cidade de Estrela

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

Fonte: Tucci e Rezende (1979) apud Flintsch (2002).

## 2.7 Modelos hidrológicos

Modelo pode ser entendido como uma representação simplificada da realidade, que possibilite reconstruir a realidade, prever um comportamento, uma transformação ou uma evolução (CHRISTOFOLETTI, 2002). Assim, no modelo tenta-se reproduzir o ambiente físico ou real, em condições específicas e

controladas.

Para Tucci (2005), os modelos hidrológicos podem ser classificados em três tipos: físicos, analógicos e matemáticos. Os modelos físicos representam o sistema por um protótipo, em escala menor. Os modelos analógicos utilizam equações análogas de diferentes fenômenos para modelar o processo desejado, utilizando o sistema mais conveniente. Por fim, os modelos matemáticos utilizam equações matemáticas para representar a natureza do sistema. Pela facilidade de modificação de sua lógica, os modelos matemáticos são considerados os mais versáteis, sendo por isso, os modelos mais utilizados em estudos do ciclo hidrológico.

Os modelos hidrológicos utilizam parâmetros que representam os componentes do ciclo hidrológico, sendo estes ajustados com dados locais. Neste processo, as vazões representam a integração de todos os processos de saída, enquanto a precipitação representa a entrada de água na bacia (COLLISCHONN, 2001).

Tucci (2005) ressalta que os modelos hidrológicos fornecem somente uma aproximação do processo real, estando seu desempenho diretamente ligado à qualidade dos dados de entrada. Desta forma, o aumento da complexidade na estrutura dos modelos nem sempre produz melhores resultados (JACQUIN; SHAMSELDIN, 2006). Além da qualidade dos dados de entrada, os modelos hidrológicos também apresentam outras limitações, como dificuldade de representação matemática de alguns processos e comportamento de variáveis e fenômenos.

Os modelos hidrológicos ainda podem ser classificados como empíricos ou conceituais. Os modelos empíricos utilizam equações matemáticas sem relação com o processo físico, enquanto que os modelos conceituais podem ser definidos como abstrações da realidade física. O modelo empírico apresenta facilidade de atualização de seus parâmetros, da mesma maneira em que produz resultados incertos quando utilizado fora dos valores ajustados. A principal vantagem no uso de modelos conceituais está na capacidade de reprodução dos processos hidrológicos de forma mais próxima dos processos físicos (BRUN; TUCCI, 2001).

Collischonn (2000) afirma que uma variedade de modelos hidrológicos conceituais vem sendo utilizados com sucesso, principalmente na engenharia de recursos hídricos. Para Germano et al. (1998), a estimativa dos parâmetros dos modelos hidrológicos deve considerar os seguintes fatores:

- a) qualidade e representatividade dos dados observados;
- b) as condições do modelo em representar os processos; e
- c) a capacidade dos parâmetros em retratar a variabilidade física da bacia.

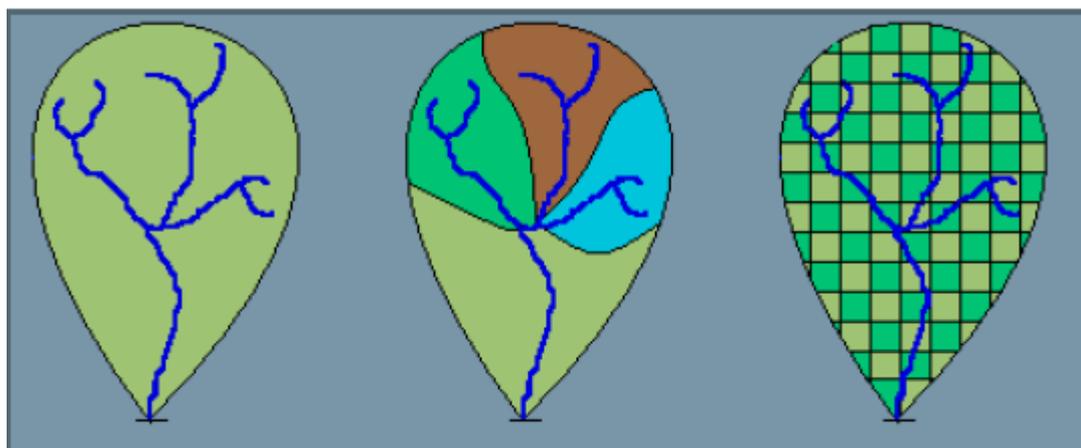
### **2.7.1 Modelo de transformação chuva-vazão SCS**

Os modelos chuva-vazão representam a parte do ciclo hidrológico entre a precipitação e a vazão, simulando, através de abstrações dos processos físicos, o processo de transformação de chuva em vazão (DE CONTO, 2009). Além da precipitação, estes modelos também utilizam características da bacia como dados de entrada, sendo a vazão a resposta a todos os processos. Quando é possível obter os dados das vazões reais, estes são utilizados para comparação com os resultados da simulação, definindo assim, os ajustes de parâmetros e a qualidade da simulação.

Segundo Gourley e Vieux (2006), os modelos chuva-vazão podem ser do tipo concentrado, distribuído por sub-bacias ou distribuído por módulos, de acordo com a espacialização dos dados de entrada e parâmetros da bacia. No modelo concentrado, a bacia é representada por uma precipitação média e os processos são representados por variáveis concentradas no espaço, sendo utilizado principalmente para pequenas bacias. No modelo distribuído por sub-bacias a bacia é dividida em sub-bacias, considerando-se a disponibilidade de dados, locais de interesse e a variabilidade de seus parâmetros físicos. Por fim, o modelo distribuído por módulos divide a bacia em formas geométricas com dimensões menores que as sub-bacias citadas anteriormente, caracterizando internamente os componentes do processo. Este modelo busca um detalhamento maior que os anteriores, mas acaba, com isso, dificultando o entendimento da integração dos processos e ajuste dos

parâmetros, em virtude do elevado número de módulos criados. Os diferentes tipos de modelo chuva-vazão são demonstrados na Figura 6.

Figura 6 – Discretização das bacias hidrológicas



Fonte: De Conto (2009).

Segundo Cheng et al. (2006), os modelos chuva-vazão que utilizam a precipitação conhecida para estimar as vazões vêm mostrando-se adequados na previsão de enchentes, apresentando, na maioria dos casos, elevada antecedência para este tipo de previsão. Estes modelos são ideais para uso em pequenas bacias, onde o tempo de concentração geralmente é baixo. Para grandes bacias, o autor sugere o uso dos modelos de propagação de escoamento.

Para Tucci (2005), cinco modelos podem ser destacados como principais: Stanford IV, IPH, SCS, SSARR e Top Model. O modelo de transformação chuva-vazão SCS foi apresentado em 1975 pelo Soil Conservation Service e tem sido, desde então, bastante utilizado para simulação de hidrogramas de cheias e o estabelecimento de risco de enchentes para um determinado local (TUCCI, 2005). Dentre os fatores que justificam sua utilização destaca-se o reduzido número de parâmetros necessários e sua relação direta com as características físicas da bacia (TUCCI, 2005). Fundamentalmente, o modelo se baseia na relação entre o escoamento direto acumulado e a precipitação total.

Originalmente, o SCS foi preparado para simular, de forma concentrada, uma bacia. Mas, se utilizado em conjunto com um modelo de escoamento, pode simular também a propagação de hidrogramas de diferente sub-bacias.

Segundo o autor, para implementar o SCS, primeiro deve-se determinar o volume superficial, que é resultado da razão entre a precipitação total acumulada com o volume superficial acumulado, e a razão entre a infiltração e o escoamento da bacia. A relação resultante é a seguinte (Equação 3):

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

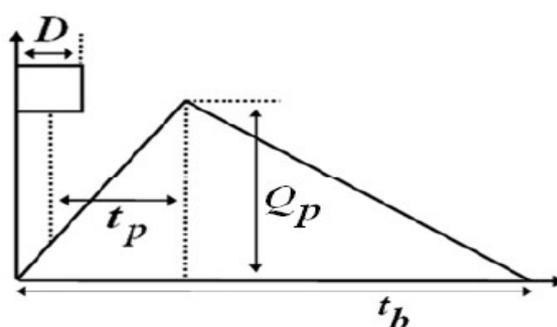
$I_a$  representa as perdas iniciais e  $S$  o armazenamento do solo. Em condições médias,  $I_a = 0,2S$ , o que representa 20% da capacidade do solo.

Para determinar a capacidade máxima de armazenamento do solo ( $S$ ) utiliza-se a variável  $CN$ , que retrata as condições de uso e cobertura do solo em uma escala que vai de zero (permeável) a cem (impermeável). A expressão que define  $S$  é a seguinte (Equação 4):

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

Após determinado o volume superficial ( $Q$ ), utiliza-se o Hidrograma Unitário Triangular (HUT) para realizar a propagação do escoamento até o rio. Este método é representado na forma de um triângulo, demonstrado através da Figura 7, e retorna a vazão máxima de saída do SCS. Para cada intervalo de tempo com chuva, deverá ser construído um HUT.

Figura 7 – Hidrograma Unitário Triangular



Fonte: Pinto (2003).

### 2.7.2 Modelo de escoamento superficial Muskingun-Cunge

Segundo Silva (2006), os modelos de escoamento superficial realizam a simulação da propagação do escoamento nos cursos de água das bacias hidrográficas. Utilizam como dados de entrada as vazões anteriores da sessão de interesse mais os parâmetros dos rios para simular a propagação de vazão nos cursos de água, considerando a atenuação existente no meio físico real. Para Tucci (2005), a grande heterogeneidade espacial das bacias representa uma das maiores dificuldades na implementação dos modelos hidrológicos, pois acaba dificultando o detalhamento desse escoamento superficial.

Os modelos de escoamento classificam-se em dois grupos: hidrológicos e hidráulicos. Os modelos hidrológicos consideram somente o efeito do armazenamento no escoamento, ignorando os efeitos da quantidade de movimento. São os mais utilizados, pela simplicidade e pequeno volume de dados necessários. Os modelos hidráulicos possuem cálculos mais complexos que os modelos hidrológicos, utilizando, além de equações, dados de topografia e características hidráulicas dos rios (TUCCI, 2005).

Dentre os principais modelos de propagação podemos destacar Nush, Clark, Puls, Muskingun, SSARR e Muskingun-Cunge. Este último é um dos mais utilizados para a simulação do escoamento em rios (DE CONTO, 2009).

O modelo Muskingun-Cunge teve origem no modelo de Muskingun, desenvolvido por McCarthy, em 1939, tendo sido aplicado primeiramente sobre o rio Muskingun, do qual herdou o nome. Segundo Silva (2006), este método baseia-se na equação de continuidade concentrada (Equação 5) e em uma função empírica (Equação 6) que relaciona o armazenamento (S) com as vazões de entrada ( $Q_i$ ) e saída ( $Q_o$ ) do trecho de propagação.

$$\frac{dQ_a}{dt} = Q_i - Q_o \quad (5)$$

$$Qa = K [XQi + (1 - X)Qo] \quad (6)$$

em que:

$K$  – parâmetro representativo do tempo de deslocamento da onda no trecho de propagação, adimensional; e

$X$  – parâmetro que pondera a influência das vazões de entrada e saída do trecho na função de armazenamento, adimensional.

Substituindo-se a Equação 6 na Equação 5 e discretizando, a referida equação resulta na Equação 7:

$$Qo_2 = C_1 Qi_2 + C_2 Qi_1 + C_3 Qo_1 \quad (7)$$

onde tem-se:

$Qo_1$  – vazão de saída no trecho do canal no início do intervalo de tempo,  $m^3/s$ ;

$Qo_2$  – vazão de saída no trecho do canal ao final do intervalo de tempo,  $m^3/s$ ;

$Qi_1$  – vazão de entrada no trecho do canal no início do intervalo de tempo,  $m^3/s$ ;

$Qi_2$  – vazão de entrada no trecho do canal ao final do intervalo de tempo,  $m^3/s$ ; e

$C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$  – coeficientes resultantes da discretização, que dependem de  $K$ ,  $X$  e  $t$ , adimensionais, calculados através da Equação 8, Equação 9 e Equação 10:

$$C_1 = \frac{-KX + \frac{\Delta t}{2}}{K(1-X) + \frac{\Delta t}{2}} \quad (8)$$

$$C_2 = \frac{KX + \frac{\Delta t}{2}}{K(1-X) + \frac{\Delta t}{2}} \quad (9)$$

$$C_3 = \frac{K(1-X) - \frac{\Delta t}{2}}{K(1-X) + \frac{\Delta t}{2}} \quad (10)$$

Diferentemente do modelo Muskingun, neste modelo é possível estimar K e X com base nas características físicas da bacia e em sua discretização, como visível na Equação 11 e na Equação 12 (SILVA, 2006):

$$X = 0,5 - \frac{q}{2dL} \quad (11)$$

$$K = \frac{L}{c} \quad (12)$$

em que:

$q$  – vazão específica por unidade de largura do canal, m<sup>3</sup>/s/m;

$d$  – declividade do fundo do canal, m/m;

$L$  – comprimento do trecho de propagação, m; e

$c$  – celeridade da onda de cheia, m/s.

A celeridade da onda pode ser obtida pela seguinte expressão (Equação 13):

$$c = \frac{5}{3} \frac{d^{0,3} q^{0,4}}{n^{0,6}} \quad (13)$$

em que:

$n$  – coeficiente de rugosidade de Manning.

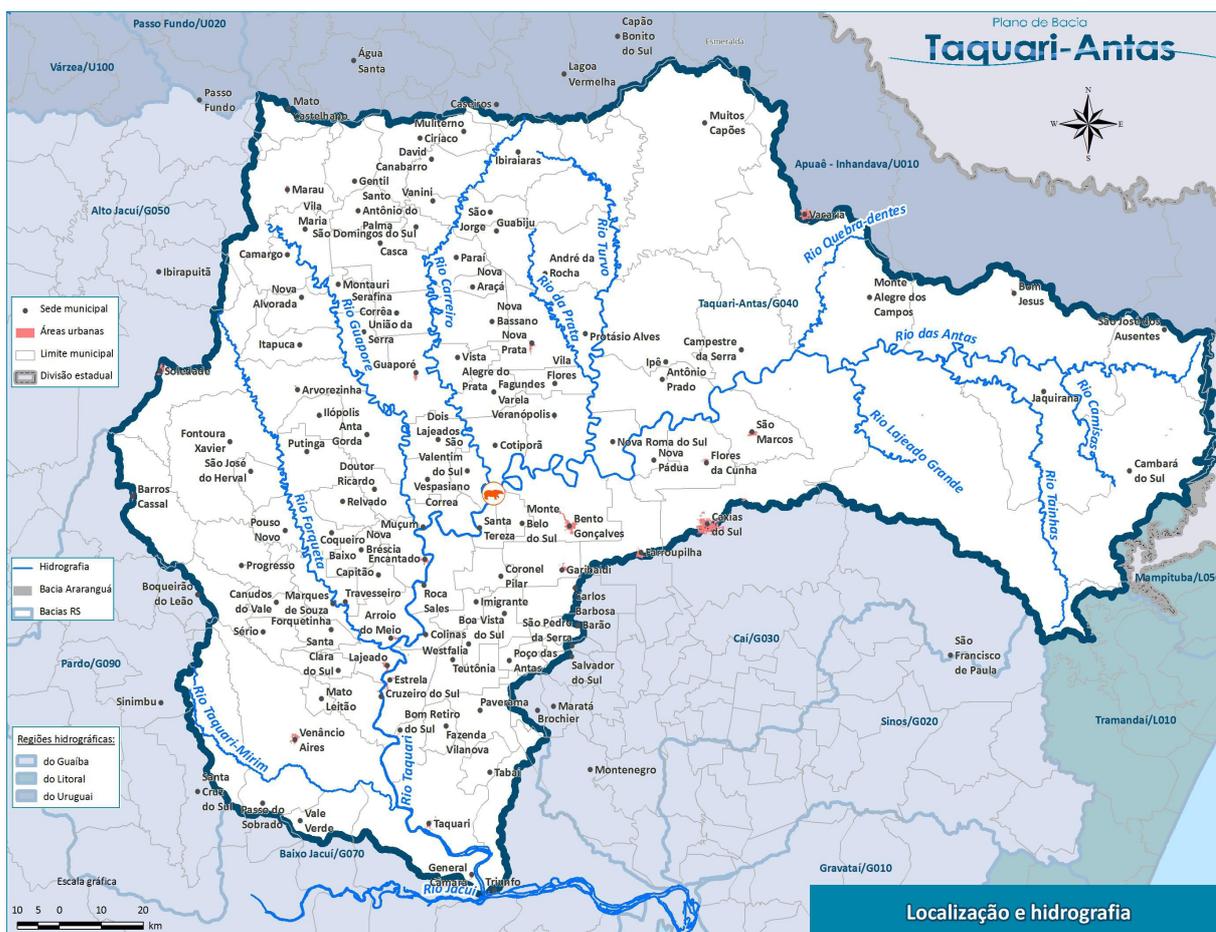
### 3 TRABALHOS RELACIONADOS

Existem inúmeros trabalhos relacionados à prevenção e detecção de inundações, utilizando-se das mais variadas técnicas disponíveis. Neste capítulo serão abordados alguns estudos considerados relevantes no assunto, de modo a apresentar a metodologia utilizada em cada um.

#### 3.1 Bacia Taquari-Antas

Com uma área de 26.428 km<sup>2</sup>, equivalente a 9% do território estadual e 98 municípios, a bacia Taquari-Antas situa-se na região nordeste do Rio Grande do Sul, sendo o principal afluente do rio Jacuí, que por sua vez é o maior formador do Guaíba. A Figura 8 demonstra esta bacia. Tem como principais afluentes os rios Camisas, Tainhas, Lajeado Grande, São Marcos, Quebra-Dentes, da Prata, Carreiro, Guaporé, Forqueta e Taquari-Mirim.

Figura 8 – Bacia Hidrológica Rio Taquari-Antas



Fonte: Fepam (Acesso em nov. 2012).

A precipitação anual média na bacia varia entre 1600 a 1800 mm, sendo relativamente bem distribuída ao longo do ano (COLLISCHONN, 2001).

Originalmente a vegetação na bacia era de florestas, exceto nas partes mais altas, onde havia o predomínio de campos. Grande parte destas florestas foi substituída por lavouras até a década de 80, mantendo-se estável nos dias de hoje. A Tabela 2 apresenta a divisão de cobertura vegetal na bacia.

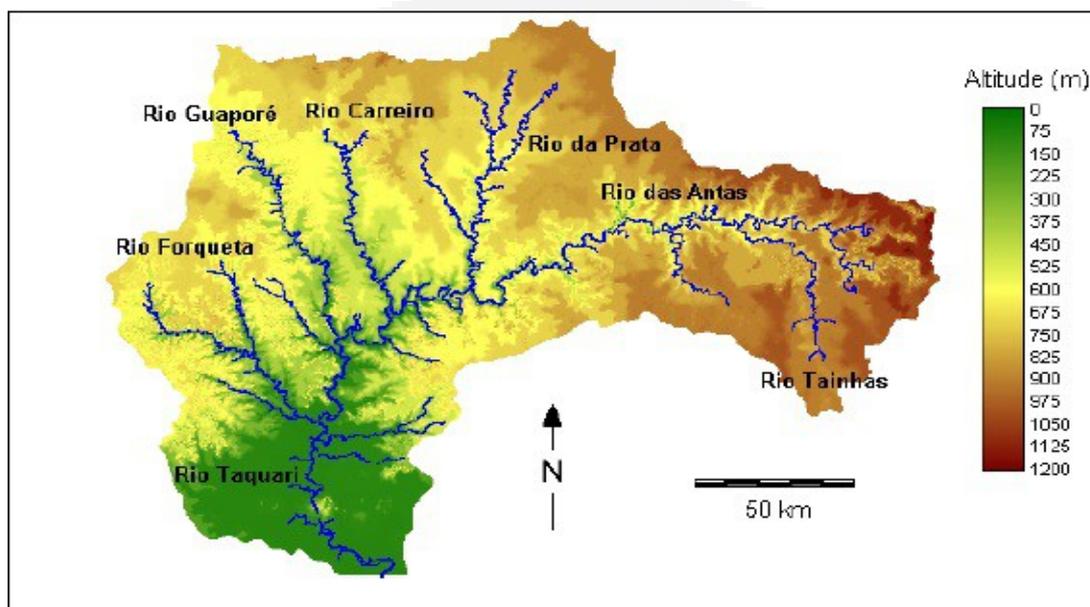
Tabela 2 – Classes de uso do solo e cobertura vegetal da bacia Taquari-Antas

Classe	Frequência(%)
Floresta	37,60
Agricultura	32,10
Pastagem	30,00
Urbano	0,20
Água	0,10

Fonte: Collischonn (2001).

Considerando suas características hidrológicas, a bacia Taquari-Antas apresenta regimes torrenciais, de escoamentos superficiais rápidos e bruscas variações de descargas, apresentando declividade média elevada, rede de drenagem densa com tendência radial, pouca cobertura vegetal, pouca profundidade e baixa permeabilidade do solo (FEPAM, 2012). A Figura 9 apresenta o relevo da bacia.

Figura 9 – Relevo da bacia Taquari-Antas



Fonte: Collischonn (2001).

Segundo FEPAM (2012) é normal a ocorrência de grandes flutuações de vazão, ocasionadas pela ocorrência de chuvas contínuas, distribuídas pela bacia, gerando grandes volumes de água que escoam com velocidade rio abaixo.

De acordo com as características geomorfológicas e hidrológicas, a bacia do Taquari-Antas pode ser dividida em três trechos distintos, descritos a seguir:

O primeiro trecho está compreendido entre as nascentes e a foz do rio Quebra-Dentes, corre na direção leste-oeste, perfaz 183 Km de extensão, com uma declividade média de 4,8 m/km. Caracteriza-se por possuir declividade acentuada, com rios encaixados e muitas corredeiras (FEPAM, 2012).

O segundo trecho, compreendido entre a foz do rio Quebra-Dentes e a foz do rio Guaporé, tem a direção predominante nordeste-sudoeste, com uma extensão de

207 km e uma declividade média de 1,6 m/km, caracterizando-se por uma declividade menos acentuada, mas ainda apresentando vales encaixados e algumas corredeiras (FEPAM, 2012).

O último trecho, já com denominação de Taquari, começa na foz do rio Guaporé e termina na confluência com o rio Jacuí, seguindo a direção predominante norte-sul e apresentando uma extensão de 140 Km e uma declividade média de 0,2 m/Km. Caracteriza-se como um rio de planície, com pouca declividade e raras corredeiras (FEPAM, 2012).

### **3.2 Inundações no Vale do Taquari**

Na região do Vale do Taquari, as inundações são fenômenos que ocorrem frequentemente, causando grandes impactos ao meio ambiente e ao meio antrópico, além de representarem um grande transtorno para a população que habita as planícies de inundação, como perda de bens materiais e proliferação de doenças (SALINI, 2011).

De acordo com Ferreira; Both (2001), as enchentes no Vale do Taquari são resultado da ocorrência de intensas precipitações nas cabeceiras na bacia do rio Taquari-Antas aliadas a características naturais da bacia. Ações humanas, como desmatamento e impermeabilização do solo, podem intensificar o alcance das inundações, mas não têm interferência direta na ocorrência destes eventos.

Análises realizadas na Bacia Hidrográfica Taquari-Antas indicam que precipitações com duração mínima de dois dias e intensidade média de 80mm provocam as primeiras inundações na cidade de Lajeado (FERREIRA et. al., 2007).

Eckhardt (2008) desenvolveu um modelo cartográfico para previsão e simulação da área urbana inundável da cidade de Lajeado. Para previsão, foi obtido um modelo matemático correlacionando as cotas de Encantado e Lajeado. Para simulação das cotas de inundação foi utilizado um Modelo Numérico de Terreno (MNT), com resolução de 0,6 metros. A partir deste arquivo foram geradas as cotas

de inundação do intervalo de 13 até 30 metros. Os resultados obtidos para a enchente do dia 24 de setembro de 2007 apresentaram um erro médio horizontal de 6,29 metros, com desvio padrão de 3,97 metros.

De Conto (2009) desenvolveu um sistema *web* de visualização e alerta de enchentes para o município de Lajeado, através da utilização de modelos hidrológicos na bacia do Rio Taquari-Antas. O referido trabalho coletava diariamente e de forma automática dados de precipitações em vários municípios da bacia e, através da aplicação dos modelos hidrológicos SCS e Muskingun-Cunge, realizava as simulações de vazões e cota máxima atingidas pelo Rio Taquari. Estas informações eram exibidas na interface *web* desenvolvida, sendo possível visualizar, através do Google Maps, as áreas atingidas para cada cota específica.

Outro importante estudo foi realizado por Ferreira et. al. (2007) e consistia na utilização de modelos matemáticos para estimar, a partir de dados históricos e estações limimétricas instaladas rio acima, a cota da água a jusante, com uma antecedência média de 6 horas em função do nível a montante. Para a enchente do dia 11 de julho de 2007 o modelo apresentou um erro de 1,36 metros, resultado considerado satisfatório.

Também é importante mencionar o trabalho de Collischon (2001), que desenvolveu um modelo de simulação para grandes bacias baseado nos modelos Larsim e Muskingun-Cunge. Aplicado na bacia do rio Taquari-Antas, este modelo apresentou resultados satisfatórios, com variação entre o volume observado e calculado de -6,01% a 5,71%.

### **3.3 Enchentes nas demais localidades**

Silva (2006) realizou um estudo visando aumentar a antecedência na previsão de vazões para o município de Nova Era – MG, localizado na bacia do Rio Doce. Para isso, construiu dois modelos hidrológicos, sendo o primeiro baseado apenas na transformação chuva-vazão, com o uso do modelo IPH II, e o segundo baseado também na propagação das ondas de cheia no canal, com o acréscimo do modelo

Muskingum-Cunge. Nos testes realizados, ambos os modelos apresentaram um aumento superior a três vezes no período de antecedência das cheias quando comparados aos métodos utilizados anteriormente, e o segundo modelo ainda mostrou-se superior aos anteriores na previsão das vazões.

Outro importante estudo foi realizado por Paiva (2009), e consistia na simulação hidrológica e hidrodinâmica para grandes bacias. Para isto, o autor utilizou o modelo hidrológico MGB-IPH e o modelo hidrodinâmico 1D IPH-IV, além de Modelos Numéricos de Terreno (MNT). A metodologia desenvolvida foi avaliada através de um estudo de caso na bacia do rio Solimões, principal afluente do rio Amazonas, com uma área de cerca de 2.221.990 km<sup>2</sup>. O método proposto mostrou-se superior na previsão de vazões quando comparado aos métodos de propagação simplificados, como o modelo Muskingum-Cunge. Além disso, o modelo também foi capaz de fornecer resultados satisfatórios de variação dos níveis d'água e das áreas inundadas.

## 4 IMPLEMENTAÇÃO

Partindo da ideia central do trabalho realizado por De Conto(2009), foi desenvolvido um aplicativo *web* para cadastro, coleta, simulação e visualização de dados de chuva e vazão, para diversos pontos de controle cadastrados ao longo das bacias hidrologicas.

De forma resumida, o processo do sistema começa com o cadastro da bacia hidrologica. Posteriormente devem ser cadastradas as séries históricas, que armazenarão os dados coletados. Neste cadastro também deve ser informado o módulo de importação responsável por realizar a coleta e atualização dos dados de cada série histórica. Feito isso, cadastram-se as sub-bacias vinculadas à bacia em questão, e faz-se o vínculo com as séries históricas. Esta vinculação é necessária para que o sistema identifique quais dados serão utilizados como entrada para cada sub-bacia. Como próximo passo devem ser cadastrados os trechos de rio vinculados à bacia. Por fim, é necessário cadastrar os pontos de controle, que fornecerão os dados de saídas das simulações. Em cada ponto de controle devem ser informados o trecho de entrada, trecho de saída e sub-bacias de entrada. Com base nestas informações o sistema tem condições de realizar a simulação de acordo com a data especificada pelo usuário. Esta simulação considera os dados de precipitação dos últimos dez dias a partir da data informada para a realização dos cálculos da simulação.

Os detalhes de implementação do sistema serão apresentados

detalhadamente ao longo deste capítulo.

#### 4.1 Estrutura da aplicação

A aplicação foi desenvolvida utilizando a linguagem de programação PHP em conjunto com HTML e Javascript. O banco de dados utilizado foi o PostgreSQL. Para facilitar, organizar e agilizar o processo de desenvolvimento utilizou-se o *framework* Core. O Core é o *framework* utilizado pela equipe de desenvolvimento da Univates e tem como principais características:

- orientação a objetos;
- estrutura MVC (Model View Controller);
- interface baseada em componentes;
- suporte a múltiplos bancos de dados;
- suporte a *web services*; e
- suporte a programação para dispositivos móveis.

A estrutura de diretórios da aplicação está visível na Figura 10.

Figura 10 – Estrutura de diretórios e arquivos da aplicação

```
— ajax.js
— arquivos
— class
— commands.js
— crontab
— docs
— engine.php
— EngineSoap.class.php
— images
— index.php
— MEngine.php
— mobile.php
— sistemas.css
— tmp
6 directories, 8 files
```

Fonte: elaborado pelo autor

O arquivo **ajax.js** é um arquivo Javascript com várias funções que visam

facilitar a utilização da tecnologia AJAX na aplicação, evitando a escrita de várias linhas para instância e utilização do mesmo. Outro arquivo Javascript é o **commands.js**, responsável por agrupar funções comuns, utilizadas mais de uma vez pela aplicação.

O diretório **class** é o diretório principal do sistema, onde estão armazenadas todas as classes PHP, tanto as criadas pelo usuário como as necessárias para o funcionamento do *framework*. O diretório **crontab** é onde ficam os arquivos responsáveis pela atualização dos dados do sistema, neste caso, os arquivos dos módulos de importação. Na pasta **docs** ficam os arquivos de documentação da aplicação, como diagramas ER (Entidade Relacionamento), arquivos de banco de dados e documentação no geral. No diretório **images** ficam as imagens do sistema, como ícones, imagens de fundo, etc. Finalizando a estrutura de pastas do sistema temos a pasta **tmp**, que é onde ficam gravados os arquivos considerados temporários, geralmente arquivos gerados em relatórios. Esta pasta pode ser esvaziada de tempos em tempos.

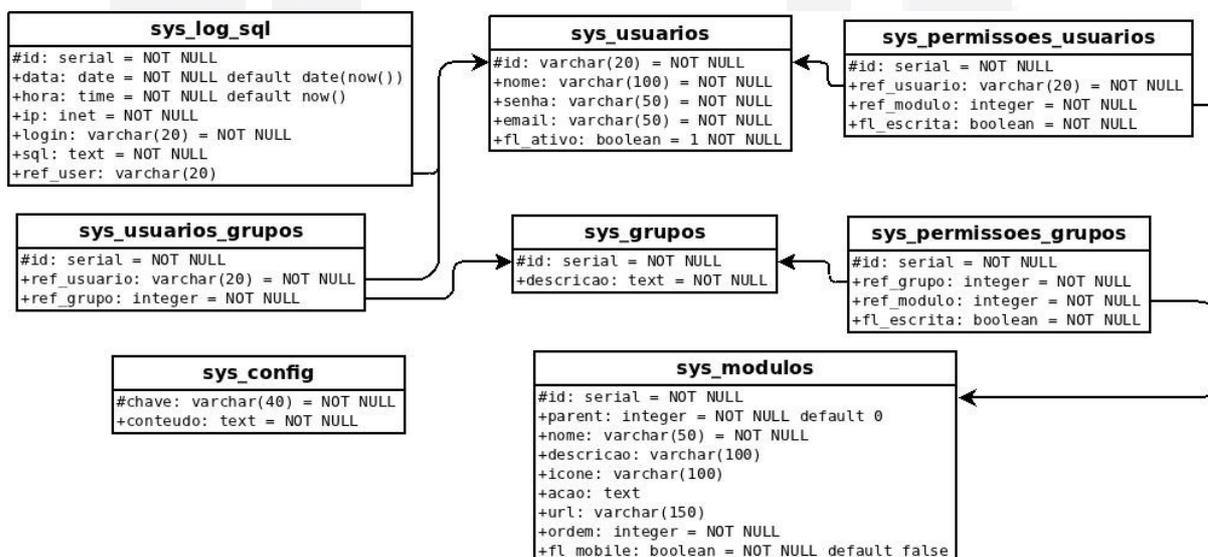
Os fontes **engine.php**, **index.php**, **MEngine.php** e **mobile.php** são os arquivos centralizadores do sistema. A cada requisição de página um desses arquivos estará sendo utilizado. Eles são os responsáveis por tratar os parâmetros passados pela URL e definir qual classe e qual método deverá ser chamado. Estes arquivos também impedem o acesso ao sistema sem que seja informado usuário e senha. A diferença principal entre eles está no propósito de cada um. Enquanto **index.php** é utilizado montando a estrutura principal do *site*, como os menus, cabeçalho e formulários através de uma requisição HTTP padrão, **engine.php** é utilizado quando é necessário que seja exibida somente a saída do método requisitado ou a requisição seja através de AJAX, evitando o carregamento de estilos e outras partes do *site*. Os fontes **MEngine.php** e **mobile.php** seguem o mesmo conceito de **engine.php** e **index.php**, respectivamente, exceto pelo fato de serem direcionados exclusivamente a navegadores de dispositivos móveis, carregando módulos e componentes específicos deste tipo de aparelho. O arquivo **EngineSoap.class.php** é utilizado como facilitador na utilização de *web services*, quando o sistema estiver sendo utilizado como servidor. Ele também é responsável pela verificação de segurança, conferindo se a chave enviada pelo cliente é válida e

se o método requisitado está liberado. No arquivo **istemas.css** estão as configurações CSS referentes ao *layout* da aplicação.

#### 4.1.1 Modelos ER

Para facilitar a visualização e compreensão da estrutura necessária para o funcionamento da aplicação foram criados dois diagramas ER. O primeiro representa a parte administrativa do sistema, como cadastro de usuários, grupos, permissões, configurações, etc. Projetada de maneira genérica, é possível aplicar o seu conceito em outros sistemas que necessitem de controle de usuários e permissões. Este modelo é representado pela Figura 11.

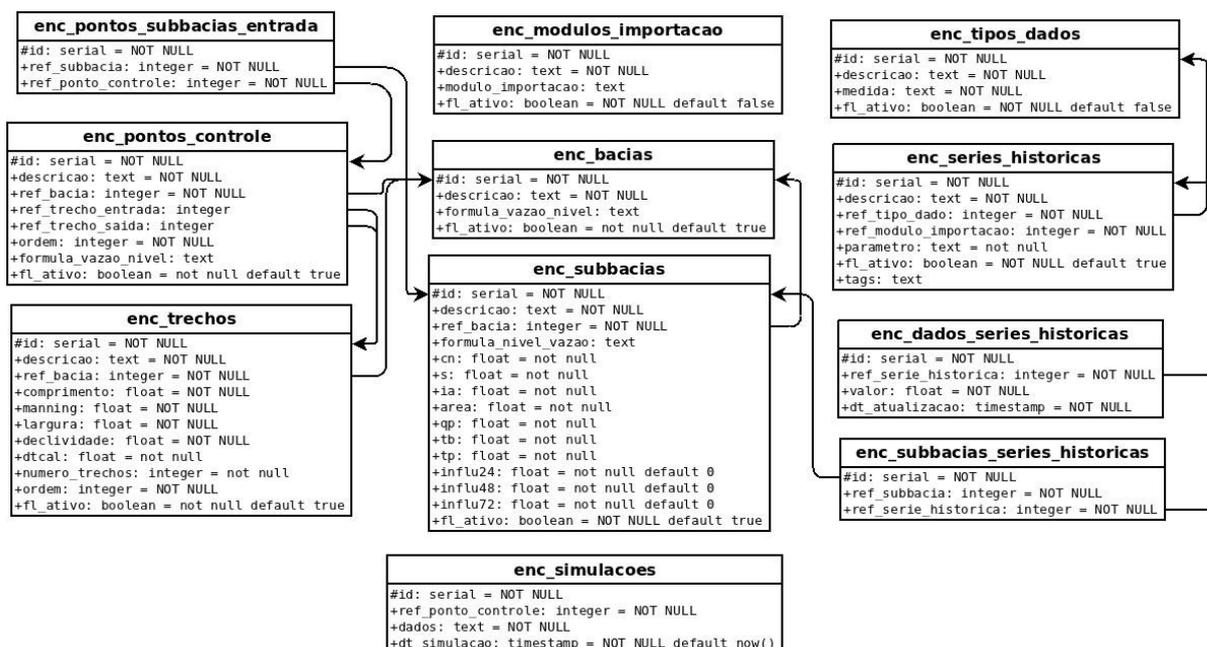
Figura 11 – Modelo ER da parte administrativa do sistema



Fonte: elaborado pelo autor

O segundo modelo representa a parte referente à simulação, com tabelas para gravação dos dados das bacias, sub-bacias, trechos, pontos de controle, etc. Esta estrutura pode ser visualizada através da Figura 12.

Figura 12 – Modelo ER da parte específica da aplicação



Fonte: elaborado pelo autor

## 4.2 Atualização dos dados

O sistema foi projetado para ser dinâmico, possibilitando o cadastro e a utilização de diversas fontes de dados de maneira simples e rápida, sem a necessidade de intervenção de um programador, exceto por uma questão: o formato dos dados de cada fonte são diferentes. Para resolver este problema foi criado o cadastro de módulos de importação. Neste cadastro há um campo para informar o caminho de um arquivo PHP, que será o responsável por realizar a importação dos dados da fonte desejada e armazená-los nas séries históricas vinculadas ao módulo em questão. Estes arquivos ficarão gravados no diretório **crontab** da aplicação.

O arquivo **atualizador.php**, também presente no diretório **crontab**, é o responsável pela verificação da necessidade de atualização de cada série histórica, de acordo com os seus parâmetros de frequência de atualização e data da última atualização. Este arquivo, executado a cada hora, verifica a data da última atualização de cada série histórica e, caso a diferença comparado a data de execução seja maior ou igual à frequência de atualização, o módulo de importação responsável pela série histórica é executado. Os dados retornados são

armazenados no banco de dados e a data da última atualização da série histórica também é alterada para o valor da data atual.

### 4.3 Administração do sistema

A aplicação desenvolvida possui uma parte específica para gerenciamento, como controle de usuários, cadastro de grupos e permissões de acesso. Os principais cadastros relacionados a este propósito são detalhados a seguir:

- a) Cadastro de módulos: os *links* visíveis no menu da aplicação são resultado deste cadastro. As informações básicas necessárias para cada módulo são nome, descrição e a URL a ser chamada quando este for escolhido.
- b) Cadastro de grupos: com o intuito de agrupar permissões comuns a vários usuários foi criado o cadastro de grupos. Além da informação obrigatória da descrição do grupo, também é possível informar os módulos a que este grupo terá acesso e os usuários vinculados ao mesmo.
- c) Cadastro de usuários: para cadastrar um usuário é necessário informar seu código de acesso, nome, senha e *e-mail*. A partir daí, buscando acelerar o processo de cadastro, também é possível informar os grupos a que este novo usuário pertencerá. Caso necessário, é possível informar *links* de permissão individual ao usuário em questão, caso este deva ter acesso a informações exclusivas que não estejam liberadas para seus grupos.
- d) Cadastro de configurações: parte do sistema utilizada para evitar definições *hard-coded* no desenvolvimento da aplicação. Informando uma chave e conteúdo, esta informação é gravada no banco de dados. A chave criada vira o identificador desta configuração e é através dela que o conteúdo será recuperado e utilizado pelo sistema. Isto evita que seja necessário modificar o código fonte quando houver alteração dos conteúdos, utilizando a própria interface do sistema para isto, sem

necessidade de intervenção de um programador.

#### 4.4 Cadastros para simulação

Para que o objetivo final da aplicação seja alcançado e as simulações possam ser executadas, uma etapa de cadastros deve ser realizada anteriormente. São eles:

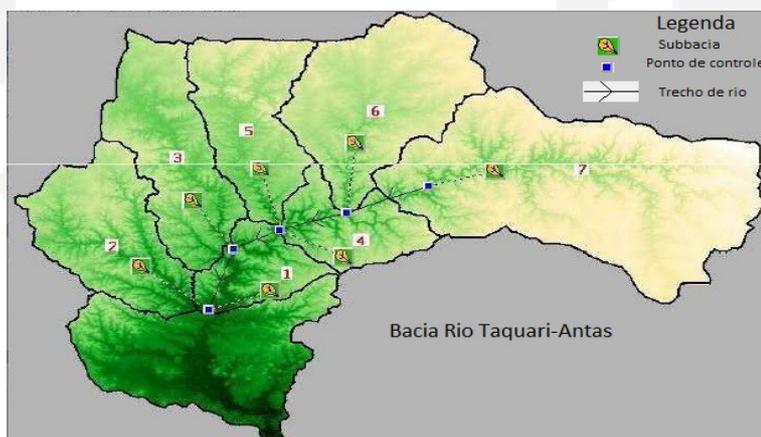
- a) Cadastro de bacias: cadastro simples, representando a bacia hidrológica como um todo, para posterior vínculo com as sub-bacias. Para realizar este cadastro basta informar um nome para a bacia.
- b) Cadastro de tipos de dados de importação: parte do sistema responsável por gravar os tipos de dados possíveis para as séries históricas. Por exemplo, precipitação e vazão. Servem para indicar qual o tipo de dado que será armazenado por cada série histórica. Além da descrição, também deve ser informado um valor para o campo medida, utilizado para exibição dos dados.
- c) Cadastro de séries históricas: também pode ser entendido como cadastro de estações pois representa, na verdade, um ponto de coleta de dados. Além de uma descrição, também devem ser informados neste cadastro: o tipo de dado que será registrado; o módulo de importação a que está conectado; a frequência de atualização (diária ou horária); parâmetro para identificação da série histórica pelo módulo de importação e *tags* para identificação em buscas ou relatórios.
- d) Cadastro de sub-bacias: nesta etapa do processo é feito o cadastro de sub-bacias para uma bacia em questão. Por isso, ao criar um novo registro é necessário informar a bacia hidrológica de referência, uma descrição e vários parâmetros relacionados ao modelo hidrológico chuva-vazão SCS. Também é preciso escolher as séries históricas que serão utilizadas para alimentar esta sub-bacia, de modo que a aplicação consiga identificar quais os dados deverão ser utilizados posteriormente na simulação.
- e) Cadastro de pontos de controle: após cadastrar os trechos e sub-

bacias da bacia hidrológica é necessário fazer a ligação entre estes elementos. Esta tarefa é realizada por este cadastro. Como nas etapas vistas anteriormente, além de informar a bacia de referência e uma descrição, devem ser informados os trechos de entrada e saída, sub-bacias de entrada e a ordem de cada ponto de controle. A ordem é importante para que o algoritmo de simulação execute os passos na ordem correta, evitando a utilização de trechos ainda não calculados.

- f) Cadastro de trechos de rio: cadastro para informar os trechos de rios onde deve ser aplicado o modelo hidrológico de escoamento superficial Muskingun-Cunge, para cada bacia hidrológica. Para criação de um novo trecho de rio basta informar a bacia a qual este trecho pertencerá, uma descrição e uma série de parâmetros para uso do modelo hidrológico citado anteriormente.

A Figura 13, extraída do software IPHS, demonstra graficamente o intuito dos cadastros mencionados, auxiliando em sua compreensão.

Figura 13 – Representação das sub-bacias, pontos de controle e trechos de rio no software IPHS



Fonte: De Conto(2009)

#### 4.5 Simulação

Após o cumprimento das etapas anteriores de cadastros e coleta de dados, o sistema está pronto para a realização das simulações. Para isto, a aplicação segue

uma série de passos que serão explicados a seguir.

#### **4.5.1 Obtenção da data de simulação**

Para que seja possível simular, o primeiro passo é obter do usuário a data que a simulação deve se basear e a bacia hidrológica de referência. De posse destas informações o próximo passo pode ser executado.

#### **4.5.2 Cálculo de médias de precipitação**

Conhecendo a data base para simulação, realiza-se o cálculo das médias de precipitação para cada hora do dia e cada sub-bacia, baseando-se nos dez dias anteriores à data base até a data informada. Na tentativa de exclusão de registros de séries históricas desativadas ou com problemas técnicos, os dados com valor de leitura igual a zero são desconsiderados neste cálculo.

#### **4.5.3 Transformação chuva-vazão com SCS**

As médias de precipitação encontradas para cada sub-bacia são utilizadas como dados de entrada para o modelo hidrológico SCS. O modelo é executado individualmente para cada sub-bacia e, através das médias de precipitação e dos parâmetros de cada uma delas, calcula a vazão de saída para cada período de tempo, que podem ser de horas ou dias.

#### **4.5.4 Escoamento superficial com Muskingun-Cunge**

O modelo hidrológico Muskingun-Cunge é aplicado para o cálculo das vazões em cada saída de trecho de rio. Para isso são utilizados como dados de entrada do

modelo as saídas das vazões do ponto de controle de origem ao qual o trecho está ligado. Com base nestes dados e nos parâmetros de cada trecho, é realizada a simulação do modelo.

#### 4.5.5 Pontos de controle

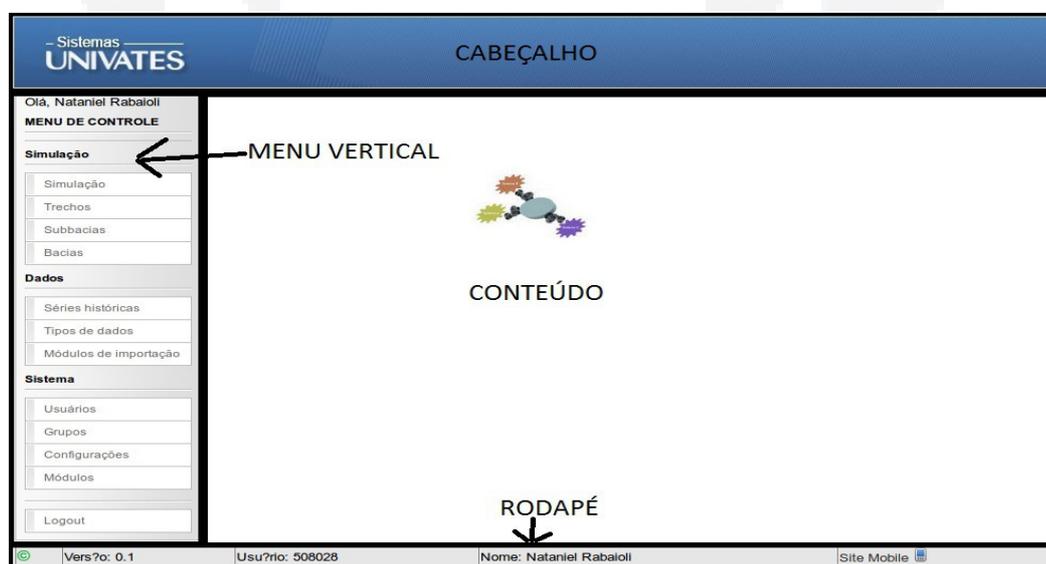
Um ponto de controle pode receber como entrada, além das vazões das sub-bacias, as vazões de um trecho, desde que este já esteja calculado. Caso não esteja, o sistema exibirá um erro, abortando a simulação.

O resultado de saída de um ponto de controle é a soma dos valores das vazões dos modelos SCS e Muskingun-Cunge. As saídas dos pontos de controle serão as saídas finais do sistema, ou seja, as informações exibidas aos usuários como resultado final da simulação. Por fim o usuário pode escolher entre visualizar o gráfico de vazões ou fazer *download* de um arquivo CSV com os dados das vazões.

## 5 INTERFACE

A interface da aplicação foi desenvolvida para ser simples e objetiva. Sua estrutura principal é composta por quatro partes: um cabeçalho, um menu vertical alinhado à esquerda, a parte do conteúdo alinhada ao centro da página e o rodapé, com informações sobre o usuário logado. A Figura 14 apresenta esta divisão.

Figura 14 – Estrutura da interface da aplicação



Fonte: elaborado pelo autor

Para facilitar a compreensão e a finalidade de cada um dos links do sistema, o menu foi subdividido em três partes: Sistema, Dados e Simulação. Estas partes serão detalhadas na sequência deste capítulo.

Na questão de interfaces, o *framework* Core possui vários recursos

interessantes, que possibilitam um desenvolvimento rápido e fácil. Por utilizar o conceito MVC, alterações na interface também são simples de realizar, pois afetam somente o arquivo referente à tela em questão, sem a necessidade de alteração da lógica da aplicação ou regras de negócio.

Para manter um padrão, a aplicação segue o mesmo conceito em praticamente todos os módulos cadastrados. No momento em que o módulo é selecionado, é exibido ao usuário um componente do tipo *grid* (grade) com as informações já cadastradas no banco de dados, com a opção de edição e exclusão de cada registro retornado. Um pouco acima desta *grid* há um formulário com algumas opções de filtro, para que o usuário possa realizar buscas nos dados, se assim desejado. Também há o botão cadastrar, direcionando para um formulário específico de cadastro. O formulário de busca e a *grid* podem ser visualizados através da Figura 15. Também podemos ver os botões para edição e exclusão de cada registro.

Outro recurso interessante do *framework* é a possibilidade de alteração na ordem de apresentação dos dados da *grid*. Para alterar a ordenação, basta clicar sobre o nome da coluna pretendida na *grid*. O sistema automaticamente reordenará os dados.

No momento da criação da tela é possível informar ao *framework* o número limite de dados que devem ser exibidos. Caso o número de registros retornado pelo banco de dados ultrapasse este limite, o *framework* criará links de paginação por conta própria.

Figura 15 – Exemplo de grid e formulário de busca

The screenshot displays the UNIVATES system interface. At the top, it says 'Sistemas UNIVATES'. Below this, there's a navigation menu on the left with sections like 'MENU DE CONTROLE', 'Simulação', 'Dados', and 'Sistema'. The main content area is titled 'Sistema :: Grupos'. It features a search form with fields for 'Codigo' and 'Descricao', and buttons for 'Buscar' and 'Cadastrar'. Below the form is a data grid with two columns: 'Codigo' and 'Descricao'. The grid contains two rows of data: one with 'Codigo' 1 and 'Descricao' ADMIN, and another with 'Codigo' 3 and 'Descricao' TESTADOR. At the bottom right of the grid, it says '1 até 2 de 2 registros'. The footer of the page shows 'Vers?o: 0.1', 'Usu?rio: 508028', 'Nome: Nataniel Rabaioli', and 'Site Mobile'.

Fonte: elaborado pelo autor

Este padrão de tela com formulário de busca e *grid* para exibição é seguido por todos os demais *links* do sistema e, portanto, será deixado de lado a partir de agora, pois não há necessidade de apresentá-los um a um. Deste momento em diante o foco será na exibição dos formulários de cadastros principais da aplicação.

## 5.1 Sistema

Nesta parte do menu estão os módulos relativos à gerência e administração do sistema, como cadastro de usuários, cadastro de grupos, cadastro de configurações e cadastro de módulos. Destes, podem ser considerados como principais o cadastro de grupos e o de usuários, que serão os mais utilizados desta categoria.

A Figura 16 apresenta o cadastro de grupos.

Figura 16 – Cadastro de grupos

The screenshot shows a web-based form titled "Grupos". It has the following fields and content:

- Codigo:** 1
- Descricao \*:** ADMIN
- Modulos \*:** A list box containing two sections:
  - Simulação:** Bacias, Pontos de controle, Simulação, Subbacias, Trechos
  - Sistema:** Configurações, Grupos, Módulos
- Usuarios:** A list box containing:
  - 508028 - NATANIEL RABAIOLI
  - 123456 - TESTE

At the bottom of the form are two buttons: "Salvar" and "Cancelar".

Fonte: extraída da aplicação

Pensando em agilizar o processo, o cadastro de grupos foi estruturado de maneira que seja possível escolher de uma vez só todos os módulos e usuários do grupo em questão.

O cadastro de usuários também foi criado desta maneira, sendo possível escolher os grupos ao que o usuário estará vinculado juntamente com as demais informações necessárias, como *login*, nome, senha e *e-mail*. Outro ponto interessante desta tela é a possibilidade de escolha de módulos individuais de acesso para o usuário. Este cadastro pode ser visto na Figura 17.

Figura 17 – Cadastro de usuários

**Usuarios**

Codigo \* 508028

Nome \* NATANIEL RABAIOLI

Senha \*\*\*\*\*

Repita a senha \*\*\*\*\*

Email \* nrabaioli@univates.br

**Grupos do usuario**

Grupos do usuario \*

ADMIN  
TESTADOR

**Modulos de acesso Individual**

Modulos individuais

**Simulação**  
Bacias  
Pontos de controle  
Simulação  
Subbacias  
Trechos

**Sistema**  
Configurações  
Grupos  
Módulos

Salvar Cancelar

Fonte: extraído da aplicação

## 5.2 Dados

Nesta categoria se enquadram os módulos referentes à coleta e registro dos dados da aplicação, utilizados posteriormente para realização da simulação. Podemos destacar como principais, o cadastro de módulos de importação e o cadastro das séries históricas.

O cadastro de módulos de importação é relativamente simples, como pode ser visto na Figura 18.

Figura 18 – Cadastro de módulos de importação

**Módulos de Importação**

Codigo \* 1

Descricao \* Defesa Cível

Módulo de importação \* defesaCivil.php

Salvar Cancelar

Fonte: extraído da aplicação

Já o cadastro de séries históricas possui algumas particularidades em sua listagem e por isso ela também será apresentada. Além das opções padrão de edição e exclusão, esta tela apresenta dois outros botões, para importação de dados através de um arquivo CSV e para exportação dos dados para um arquivo também neste formato. Estas características podem ser visualizadas através da Figura 19.

Figura 19 – Grid de séries históricas

**Séries históricas**

Código

Descrição

Parametro

Tags

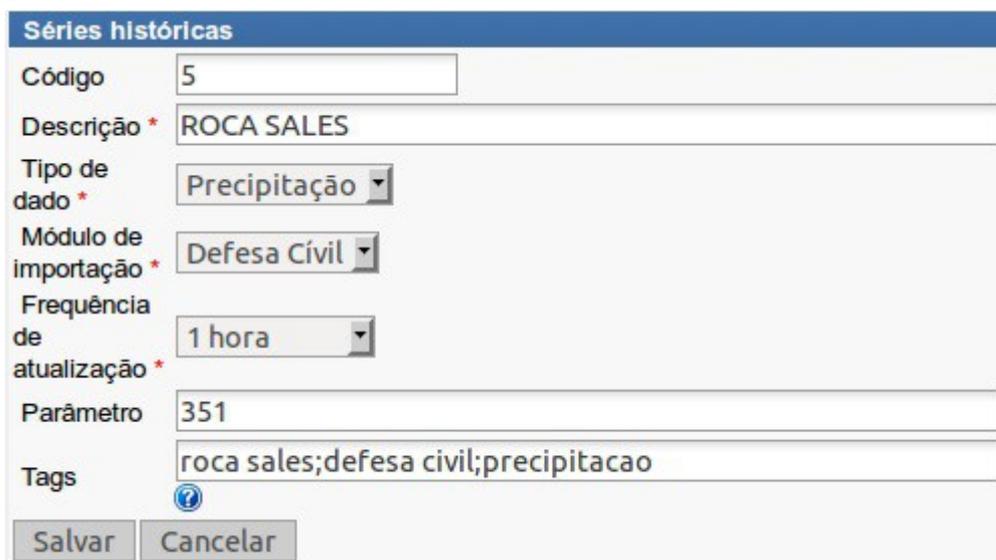
				Código	Descricao
				5	ROCA SALES
				6	ENCANTADO
				7	ARROIO DO MEIO
				8	MUCUM
				11	IMIGRANTE
				13	COLINAS
				14	FONTOURA XAVIER
				16	PUTINGA
				17	PROGRESSO
				18	BARROS CASSAL

1 até 10 de 29 registros

Fonte: extraído da aplicação

A parte de cadastro de uma nova série histórica não apresenta maiores dificuldade, conforme demonstra a Figura 20.

Figura 20 – Cadastro de séries históricas



Séries históricas	
Código	5
Descrição *	ROCA SALES
Tipo de dado *	Precipitação
Módulo de importação *	Defesa Cível
Frequência de atualização *	1 hora
Parâmetro	351
Tags	roca sales;defesa civil;precipitacao
<input type="button" value="Salvar"/> <input type="button" value="Cancelar"/>	

Fonte: extraído da aplicação

### 5.3 Simulação

A parte de simulação do sistema é a que apresenta os cadastros mais extensos e complexos. Em alguns casos é necessário fazer a ligação entre um ou mais registros, até mesmo entre conceitos diferentes, como sub-bacia e trechos de rio. Por isso a informação incorreta de valores nestas situações pode ocasionar o não funcionamento da simulação ou funcionamento irregular. Nestas etapas deve haver uma atenção maior por parte dos usuários.

Começando pelo cadastro de sub-bacias, demonstrado pela Figura 21, é possível verificar a existência de um componente não visto até o momento. Trata-se de um formulário com abas. Na primeira aba (Figura 21) são solicitadas as informações referentes ao funcionamento do modelo hidrológico SCS e na segunda aba (Figura 22) são selecionadas as séries históricas que fornecerão os dados para as simulações desta sub-bacia.

Figura 21 – Cadastro de sub-bacias, aba de parâmetros do modelo SCS

Subbacias | Séries Históricas

Codigo: 3

Descricao\*: Subbacia 1

Bacia\*: Rio Taquari

CN\*: 78

S\*: 71.64

IA\*: 14.33

Area\*: 1410.02

QP\*: 9.42

TB\*: 83.09

TP\*: 31.12

<< >>

Salvar Cancelar

Fonte: extraído da aplicação

Figura 22 – Cadastro de sub-bacias, aba de séries históricas

Subbacias | Séries Históricas

Série histórica\*: Clique Aqui

Adicionar Excluir Cancelar

Série histórica

- COLINAS
- BOA VISTA DO SUL
- IMIGRANTE
- CARLOS BARBOSA
- GARIBALDI
- MUCUM
- ARROIO DO MEIO

<< >>

Salvar Cancelar

Fonte: extraído da aplicação

O próximo cadastro a ser visto é o de trechos de rio. Basta informar uma série de parâmetros que serão utilizados pelo modelo Muskingun-Cunge. O formulário pode ser visto na Figura 23.

Figura 23 – Cadastro de trechos de rio

Trecos	
Codigo	2
Bacia *	Rio Taquari
Descrição *	Trecho 1
Comprimento *	68606.5
Manning *	0.04
Largura *	40
Declividade *	0.00187
Dtcal *	12343
Nº trechos *	1
<input type="button" value="Salvar"/> <input type="button" value="Cancelar"/>	

Fonte: extraído da aplicação

Talvez o cadastro mais complexo de todos seja o de pontos de controle. Sua complexidade decorre do processo em si, mas não de sua interface. A vinculação entre trechos de entrada e saída, além das sub-bacias de entrada, acaba fornecendo a este formulário um nível maior de dificuldade. Para alterá-lo o usuário deve possuir conhecimento do processo hidrológico estudado, a fim de evitar possíveis erros em sua operação. Este formulário é detalhado pelo Figura 24.

Figura 24 – Cadastro de pontos de controle

Pontos de controle	
Codigo	3
Bacia *	Rio Taquari
Descrição *	P2
Trecho de entrada	Trecho 1
Trecho de saída	Trecho 2
Subbacias de entrada	Subbacia 2 Subbacia 3 Subbacia 4 Subbacia 5 Subbacia 6
Ordem *	2
Fórmula vazão x nível	$6.564 * \log(\$vazao) - 37.476$
<input type="button" value="Salvar"/> <input type="button" value="Cancelar"/>	

Fonte: extraído da aplicação

O formulário de simulação é bem simples, bastando informar a bacia hidrológica e a data para simulação, como está representado pela Figura 25. Se desejado, também é possível verificar os dados da última simulação realizada.

Figura 25 – Formulário de simulação

Fonte: extraído da aplicação

Após executada a simulação, o sistema processará as informações e exibirá os dados conforme a Figura 26 nos mostra, com opção de visualização de gráfico para cada ponto de controle ou *download* dos valores de saída para um arquivo CSV.

Figura 26 – Exibição dos resultados da simulação para cada ponto de controle

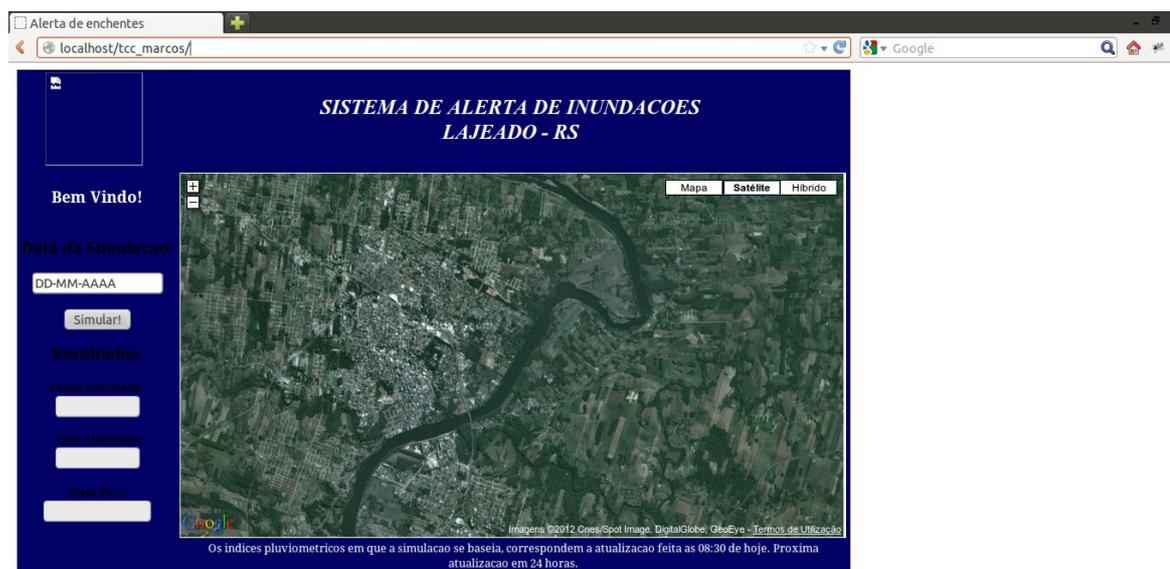


Fonte: extraído da aplicação

## 6 ANÁLISE DE RESULTADOS

O trabalho de De Conto (2009) mostrou-se útil na prevenção e alerta de enchentes para o rio Taquari na cidade de Lajeado, mas algumas deficiências e dificuldades foram identificadas durante sua utilização. A primeira delas está no período de simulação diário, insuficiente para a previsão com uma antecedência satisfatória. Outro problema está no fato de não ser possível para o usuário visualizar as informações armazenadas no banco de dados, pois nenhuma interface foi desenvolvida para este fim. Uma enorme quantidade de dados que poderia ser utilizada para geração de relatórios, gráficos ou simplesmente consultas não pode ser extraída do sistema. No quesito simulação também foram encontradas algumas deficiências. O sistema em si está muito amarrado ao código fonte. Os parâmetros referentes às sub-bacias estão implementados diretamente no algoritmo, dificultando sua alteração para calibragem ou testes. A única interface desenvolvida serve para visualização da simulação e possui um layout pouco amigável, conforme pode ser visto através da figura 27. Além disso, só é possível visualizar a saída final da simulação, pois os dados dos pontos de controle intermediários não são apresentados.

Figura 27 – interface antiga do sistema



Fonte: De Conto (2009)

A análise de resultados descrita a seguir leva em consideração os problemas citados, encontrados em De Conto (2009), como base para comparação. Esta análise foi dividida em duas partes: interfaces e simulações.

Na questão das interfaces, os resultados alcançados apresentaram melhoras em comparação ao sistema antigo. De forma simples e prática foi possível alterar os parâmetros para a simulação, como também gerenciar o sistema de uma maneira geral. Com interfaces específicas para cada tipo de cadastro, os usuários têm controle total do sistema, sem a necessidade de intervenção de um programador. Todas as configurações e parâmetros necessários para o funcionamento do sistema podem ser modificadas através da interface. Nada mais está definido diretamente no código fonte.

Outro ponto positivo está na padronização de *grids* e formulários, que tornam o uso do sistema intuitivo, facilitando sua utilização. O uso de *grids* também possibilitou uma customização na visualização das informações de cada parte do sistema como, por exemplo, a visualização dos dados coletados para cada série histórica. O menu lateral permitiu acesso a qualquer parte da aplicação com apenas um clique. Estas características, em conjunto, concederam ao software uma boa usabilidade.

Para finalizar a questão das interfaces, também cabe salientar a utilização de um *framework*. Sua organização e recursos permitiram um desenvolvimento rápido e pontual.

Assim como em De Conto (2009), para a simulação foram importados dados do *site* da Defesa Civil. Os resultados foram comparados com os dados reais obtidos no Porto de Estrela.

Ao realizar a simulação os resultados são obtidos rapidamente, levando em média cinco segundos para finalizar o processamento, mesmo em uma máquina com configurações normais. A tendência é que este tempo diminua quando instalado em um ambiente servidor, com alto poder de processamento. Cabe salientar também que, deste tempo de processamento, uma parte é gasta com a montagem do gráfico a partir da ferramenta Google Charts.

Como teste para os resultados da simulação foram utilizados quatro eventos de inundação, nos dias 27/07/2006, 11/07/2007, 24/09/2007 e 27/10/2008. Os resultados podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 – Comparação de dados simulados x observados

Data	Nível observado	Nível simulado	Horário de pico observado	Horário de pico simulado	Erro (m)	Erro (h)
27/07/2006	19,86m	21,56m	11:00hs	22:00hs	1,7	11
11/07/2007	24,51m	25,08m	10:00hs	01:00hs	0,57	9
24/09/2007	26,25m	27,97m	16:00hs	20:00hs	1,72	4
27/10/2008	26,65m	26,15m	11:00hs	16:00hs	0,5	5

Fonte: elaborado pelo autor

Dos quatro eventos detalhados, três deles apresentaram simulações com valores de nível maiores que o observado, com exceção do dia 27/10/2008. O mesmo caso ocorreu na simulação de horários de pico, com três registros superestimados, mas tendo como exceção o dia 11/07/2007. A maior diferença de nível foi de 1,72 metros, no dia 24/09/2007, e a menor foi de 0,5 metros, no dia 27/10/2008. Já na simulação de horários de pico, a maior diferença foi de 11 horas, no dia 27/07/2006, e a menor foi de 4 horas, no dia 24/09/2007. Com base nessas informações obteve-se uma média geral de erro de 1,12 metros no nível do rio e de 7,25 horas no horário de pico de vazão.

Os resultados alcançados são promissores, apresentando uma pequena variação em comparação aos resultados encontrados por De Conto (2009). Essa variação ocorreu devido à generalização dos modelos hidrológicos para diminuição no período de simulação, que passou de diário para horário.

É importante registrar que estes últimos testes servem para atestar o funcionamento da simulação neste novo sistema, demonstrando que é equivalente ao do trabalho anterior. Contudo, o foco deste trabalho não foi no aprimoramento do modelo hidrológico em si, portanto sendo esta uma possibilidade para desdobramentos futuros.

## 7 CONCLUSÃO

Características naturais da bacia do Rio Taquari aliadas à ocupação desordenada de áreas naturalmente inundáveis têm causado grande transtorno aos municípios desta região. Apesar de agravar os eventos de cheia, o ser humano não tem participação direta nestas ocorrências, não havendo hoje uma maneira de evitá-las por completo.

As chamadas medidas não-estruturais são as medidas mais utilizadas atualmente para o controle e prevenção de enchentes e visam melhorar o convívio da população com esses eventos e não evitá-los. Dentre estas medidas destacam-se principalmente as construções à prova de inundações, previsão do tempo e de enchentes.

Este trabalho trata de uma medida não-estrutural, a previsão de enchentes através dos modelos hidrológicos SCS e Muskingun-Cunge. A utilização de modelos hidrológicos tem se mostrado bastante eficiente neste tipo de previsão.

Em continuação ao trabalho desenvolvido por De Conto (2009) e com base nos modelos hidrológicos citados foi desenvolvido um software *web* na linguagem de programação PHP em conjunto com HTML, CSS e Javascript, além do banco de dados PostgreSQL. Esta aplicação permite, através de sua interface, o gerenciamento geral do sistema, como cadastro de usuários e suas permissões, além da parte específica sobre a simulação. A ideia principal é permitir o cadastro de variadas fontes de dados, de modo que a importação destas informações seja feita

de forma automática, para posteriormente permitir a realização das simulações, bastando apenas informar a data desejada para a execução da mesma. O sistema, então, exibe as informações de saída de vazão para cada ponto de controle cadastrado, possibilitando sua visualização na forma de gráficos ou fazendo *download* dos dados para um arquivo CSV.

Entende-se que os objetivos propostos foram atingidos, e que o presente sistema pode ser utilizado tanto como ferramenta de pesquisa como instrumento de apoio por parte das autoridades. A previsão antecipada das cotas pode facilitar a tomada de decisões por parte destes órgãos e, assim, melhorar os serviços prestados à população atingida.

Cabe ressaltar que durante as simulações realizadas, de forma preliminar, encontrou-se um erro médio de 1,12 metros entre o nível observado e o simulado. Nestas mesmas simulações foi encontrado um erro médio de 7,25 horas na previsão do horário do pico de cheia. Para a obtenção de resultados mais precisos é necessária a utilização de dados mais detalhados, algo que já está ocorrendo com a implantação de uma rede em tempo real de monitoramento do Rio Taquari. Também é necessário que seja feito um estudo detalhado das características das sub-bacias e dos trechos de rio, configurados na forma de parâmetros através da interface do sistema. Configuram-se assim algumas possibilidades de trabalhos futuros, dando continuidade ao processo de previsão de enchentes.

## REFERÊNCIAS

- BRUN, G. W.; TUCCI, C. E. M. **Previsão em tempo real do volume afluente ao reservatório de Ernestina**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, RS, Vol. 6, nº 2, p. 73 – 79, Abr./Jun. 2001.
- CASTRO, A. L. C. **Manual de Desastres: Desastres Naturais**. Vol I. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2003, 173p.
- CHENG, C. T.; ZHAO, M. Y.; CHAU, K. W.; WU, X. Y. **Using genetic algorithm and TOPSIS for Xinanjiang model calibration with a single procedure**. Journal of Hydrology, vol. 316, p. 129 – 140, Jan. 2006. Disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br>>. Acesso em: 20 set. 2012.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Ed Edgard Blucher, 2002. 236 p.
- COLLISCHONN, W. **Simulação Hidrológica de grandes bacias**. 2001, 270 p. Pós Graduação em Engenharia de Recurso Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre 2001.
- DE CONTO, M. **Aplicativo para simulação e visualização de enchentes através de modelos hidrológicos na cidade de Lajeado – RS**. 2009. 110p. Monografia – Curso de Sistemas de Informação – Centro Universitário Univates, Lajeado, 2009.
- ECKHARDT, R. R. **Geração de modelo cartográfico aplicado ao mapeamento das áreas sujeitas às inundações urbanas na cidade de Lajeado \ RS**. 2008. 117 p. Pós Graduação em Sensoriamento Remoto do Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre 2008.
- FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental – RS Disponível em: <[http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade\\_taquari\\_antas/taquariantas.asp](http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_taquari_antas/taquariantas.asp)> Acesso em: 05 nov. 2012
- FERREIRA, E. R.; BOTH, G.C. **Estudo das enchentes no Vale do Taquari:**

**causas e propostas de controle.** In: MEEP, 4. Lajeado. Anais. Lajeado: Univates, 2001.

FERREIRA, E. R. et. al. **Sistema de Previsão e Alerta de Enchentes do Vale do Taquari - RS - Brasil.** In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais e Tecnológicos (SIBRADEN), 2, 2007, Santos. Anais... São Paulo.

FLINTSCH, G. B. A. **Prevenção das enchentes no baixo taquari, estrela Bom Retiro do Sul – RS.** 2002. 36 p. MBA Internacional em gestão ambiental, Laboratório Nacional de Computação Científica, Pós Graduação em Gestão Ambiental Porto Alegre 2002.

GARCEZ L. N.; ALVAREZ G. A. **Hidrologia.** 2 ed. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda, 2002, 291p.

GERMANO, A.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. **Estimativa dos parâmetros do modelo IPH II para algumas bacias urbanas brasileiras.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, RS, vol. 3, nº 4, p. 103 – 120, Out./Dez. 1998.

GOURLEY, J. J.; VIEUX, B. E. **A method for identifying sources of model uncertainty in rainfall-runoff simulations.** Journal of Hydrology, vol. 327, p. 68 – 80, Jul. 2006. Disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br>>. Acesso em: 20 set. 2012.

GRIBBIN, J. E. **Introdução à hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais.** São Paulo: Ed. Cengage Learning, 2009, 493 p.

JACQUIN, A. P.; SHAMSELDIN, A. Y. **Development of rainfall-runoff models using Takagi-Sugeno fuzzy inference systems.** *Journal of Hydrology*, (artigo impresso ainda não publicado), Abr. 2006. Disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br>>. Acesso em: 25 out. 2012.

PAIVA, R. C. D. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica de grandes bacias. Estudo de caso: bacia do rio Solimões.** 2009. 182p. Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

PINTO, N. L. S. et. al. **Hidrologia básica.** São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda, 2003, 278p.

RECKZIEGEL, B. W. **Levantamento dos desastres desencadeados por eventos naturais adversos no Estado do Rio Grande do Sul no período de 1980 a 2005.** 2007, 261p, Dissertação de mestrado em Geografia. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

SALINI, M. F. **A influência do fenômeno El Niño oscilação sul – enos (La Niña e El Niño) na ocorrência de inundações no Vale do Taquari – RS.** 2011, 57p, Monografia - Curso de Engenharia Ambiental. Centro Universitário Univates, Lajeado, 2011.

SANTOS, R. F. (ORG.). **Vulnerabilidade Ambiental - Desastres Naturais ou Fenômenos Induzidos?** Brasília: MMA, 2007. 192p.

SILVA, J. B. L. **Modelos de previsão de enchente em tempo real para o município de Nova Era – MG.** 2006, 113 p. Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais, 2006.

TUCCI, C. E. M. **Inundações e Drenagem Urbana.** In: TUCCI, C. E. M., BERTONI, J.C. Inundações Urbanas na América do Sul, ABRH, Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2003, p. 45 – 150.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos.** ABRH, Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2005, 678p.

