

# ALERTA HIDROLÓGICO DA BACIA DO RIO CAÍ

## concepção e implantação do sistema

*Márcia Pedrollo<sup>1</sup>; Andrea Germano<sup>2</sup>; Patrícia Sotério<sup>3</sup>; Éder Rodrigues<sup>4</sup>; João Carlos Maduell<sup>5</sup>*

**RESUMO** --- Este trabalho apresenta a descrição do projeto e das etapas da implantação de um sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do rio Caí, que tem como principal objetivo o monitoramento em tempo real e a previsão de níveis, inicialmente para as cidades de São Sebastião do Caí e Montenegro. Foram instaladas 7 estações telemétricas para aquisição e transmissão de dados de chuva e de nível a cada 15 minutos. A bacia do rio Caí localiza-se integralmente no Estado do Rio Grande do Sul, na Região Hidrográfica do lago Guaíba, e possui uma área de drenagem de 4.938km<sup>2</sup>. O trecho baixo do rio Caí, que apresenta um relevo plano e de cotas baixas, é marcado pela ocorrência de inundações nas áreas urbanas de alguns municípios, particularmente nas cidades de São Sebastião do Caí e de Montenegro. A implantação do sistema de monitoramento e previsão constitui-se das seguintes etapas: Definição dos pontos de monitoramento, aquisição de equipamentos telemétricos, instalação das estações e da central de aquisição de dados, elaboração do modelo matemático para a previsão de níveis e dos recursos para o acompanhamento da situação e dos resultados do modelo.

**ABSTRACT** --- This work presents the description of the project and the implantation stages of a hydrologic alert of the Caí river basin system, that has as main objectives the real time level monitoring and forecasting, initially for the cities of São Sebastião do Caí and Montenegro. Seven telemetric stations for rain and level data acquisition and transmission for each 15 minutes had been installed. The Caí river basin is situated integrally in the State of Rio Grande do Sul, in the hydrografic region of the lago Guaíba, with a draining area of 4.938km<sup>2</sup>. The low stretch of the Caí river, which presents a plain relief of low quotas, is marked by the occurrence of floodings in the urban areas of some cities, particularly in the cities of São Sebastião do Caí and Montenegro. The deployment of the system of monitoring and forecasting consists of the following stages: Definition of the monitoring points, acquisition of telemetric equipments, installation of the stations and of the central office of data acquisition, development of mathematical model for predicting levels, and resources to monitor the situation and results of the model.

**Palavras-chave:** alerta hidrológico, bacia do rio Caí.

- 1) Pesquisador em Geociências da CPRM. Rua Banco da Província, 105 Porto Alegre-RS. E-mail [marcia.pedrollo@cprm.gov.br](mailto:marcia.pedrollo@cprm.gov.br)
- 2) Pesquisador em Geociências da CPRM. Rua Banco da Província, 105 Porto Alegre-RS. E-mail [andrea.germano@cprm.gov.br](mailto:andrea.germano@cprm.gov.br)
- 3) Técnico em Geociências da CPRM. Rua Banco da Província, 105 Porto Alegre-RS. E-mail [patricia.soterio@cprm.gov.br](mailto:patricia.soterio@cprm.gov.br)
- 4) Técnico em Geociências da CPRM. Rua Banco da Província, 105 Porto Alegre-RS. E-mail [eder.rodrigues@cprm.gov.br](mailto:eder.rodrigues@cprm.gov.br)
- 5) Técnico em Geociências da CPRM. Rua Banco da Província, 105 Porto Alegre-RS. E-mail [joao.maduell@cprm.gov.br](mailto:joao.maduell@cprm.gov.br)

## 1. INTRODUÇÃO

As inundações ocorrem quando as águas dos rios, riachos e galerias pluviais extravasam de seu leito menor de escoamento (seção onde a água escoava a maior parte do tempo) e escoam através do leito maior que foi ocupado pela população para moradia, transporte, recreação, comércio, indústria, entre outros.

Devido à grande dificuldade de transporte no passado, as cidades se desenvolveram as margens dos rios ou no litoral, com o fim de utilizar o rio como via de transporte. Com o crescimento desordenado e acelerado das cidades, principalmente na segunda metade do século 20, as áreas de risco considerável, como as várzeas inundáveis, foram ocupadas, trazendo como consequência prejuízos humanos e materiais relevantes devido às inundações subsequentes Tucci (2007).

O controle das inundações pode ser obtido por um conjunto de medidas estruturais e não-estruturais, permitindo a população ribeirinha minimizar suas perdas e manter uma convivência harmônica com o rio.

As medidas estruturais são aquelas que modificam o sistema fluvial evitando os prejuízos decorrentes das enchentes, enquanto que as medidas não-estruturais são aquelas em que os prejuízos são reduzidos pela melhor convivência da população com as enchentes.

As medidas estruturais são obras de engenharia, implementadas para reduzir o risco de enchentes. Estas medidas podem ser extensivas ou intensivas. As medidas extensivas são impostas à bacia, modificando as relações entre precipitação e vazão. As medidas intensivas são aplicadas diretamente no rio e podem ser de três tipos: (a) limitam o escoamento: diques; (b) retardam o escoamento: reservatórios e bacias de amortecimento e (c) aceleram ou facilitam o escoamento: canais laterais com comportas.

A medida estrutural pode criar uma falsa sensação de segurança, permitindo a ampliação da ocupação das áreas inundáveis, que no futuro poderá resultar em danos significativos. O custo de proteção de uma área inundável por medidas estruturais, em geral, é superior ao de medidas não-estruturais.

As medidas não-estruturais não são projetadas para oferecer proteção, apenas permitem reduzir os prejuízos econômicos e principalmente pessoais, sem necessidade de interferência física na bacia ou no rio. As principais medidas não-estruturais podem ser agrupadas em: (a) zoneamento de áreas de inundação através de regulamentação do uso da terra; (b) construções à prova de enchentes; (c) seguro de enchente e (d) previsão e alerta de inundação.

A previsão de cheias associada a um sistema de alerta, com boletins periódicos repassados à Defesa Civil, pode ser útil para permitir a remoção preventiva de pessoas e bens materiais de áreas de risco.

As inundações que ocorrem na bacia do rio Caí (estado do Rio Grande do Sul) estão, sem dúvida, entre os problemas mais importantes nesta bacia, no que diz respeito à hidrologia. O trecho baixo do rio Caí, da cidade de São Sebastião do Caí até a foz, que apresenta um relevo plano e de cotas baixas, é marcado pela ocorrência de inundações nas áreas urbanas de alguns municípios, especialmente Montenegro e São Sebastião do Caí, Revista do Plano Caí, (2008). Não sem razão, as cheias na bacia são uma das principais preocupações do Comitê Caí. Na figura 1 observa-se uma foto de parte da cidade de Montenegro durante a enchente de 2007, que nos foi cedida pelo Sr. Becker da indústria Tanac S.A, e na figura 2 uma foto de um trecho ribeirinho da cidade de São Sebastião do Caí durante a enchente de 2009.

O trabalho de Agrar - und Hydrotechnik apud Paim *et al.* (2006), sobre este assunto, aponta como prioridade a proteção de cheias na cidade de Montenegro, onde os prejuízos seriam os maiores dentre todas as localidades situadas nas margens do rio. São Sebastião do Caí é citada como tendo prejuízos não tão sérios, porém ainda bastante elevados. Este mesmo estudo calculou em 1,6 anos o tempo de retorno para que haja inundações com prejuízos em São Sebastião do Caí, o que significa que a cada 3 anos o rio transborda em média cerca de 2 vezes.



Figura 1 – Foto da cidade de Montenegro – enchente de 2007



Figura 2 – Foto da cidade de São Sebastião do Caí – enchente de 2009

## 2. OBJETIVO

Considerando as frequentes inundações na bacia do rio Caí, a CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, dentro de suas atribuições, aprovou a execução do projeto denominado “Aquisição e Operação de um Sistema de Alerta Hidrológico na Bacia do rio Caí”, o qual tem como principal objetivo a instalação e a operação continuada de um sistema de acompanhamento e alerta hidrológico na bacia do rio Caí, com previsões de níveis, inicialmente, para as cidades de São Sebastião do Caí e Montenegro.

## 3. CARACTERÍSTICAS DA BACIA

A bacia do rio Caí localiza-se integralmente no Estado do Rio Grande do Sul, na região Hidrográfica do Guaíba, e possui uma área de drenagem de 4.938km<sup>2</sup> (cerca de 2% da área do RS, a qual compreende, total ou parcialmente, 42 municípios) e 550 mil habitantes (5% da população total do RS). A figura 3 apresenta o mapa de localização da bacia.

Na bacia do rio Caí, 46% do PIB é gerado pelas atividades industriais (com destaque para as indústrias coureiro-calçadista, de alimentos e bebidas, metal-mecânica e petroquímica), 31% por atividades de serviços e 23% por atividades agropecuárias (com destaque para as culturas de arroz, olerícolas e fruticulturas e os rebanhos bovinos, suínos e aves).

O rio Caí tem seus formadores no planalto da Serra Geral, no município de São Francisco de Paula, entre as altitudes de 900 e 1000m, recebendo inicialmente o nome de Santa Cruz, até a divisa dos municípios de Canela e Gramado, desembocando no delta rio do Jacuí, em frente a Ilha Grande

dos Marinheiros, nas proximidades do povoado de Morretes, após um percurso de aproximadamente 195km. Seus principais afluentes são os seguintes cursos d'água: Caracol, Pinto, Pirajá e Cadeia (pela margem esquerda) e Divisa, Muniz, Macaco, Piaí, Pinhal, Ouro, Mauá e Maratá (pela margem direita).

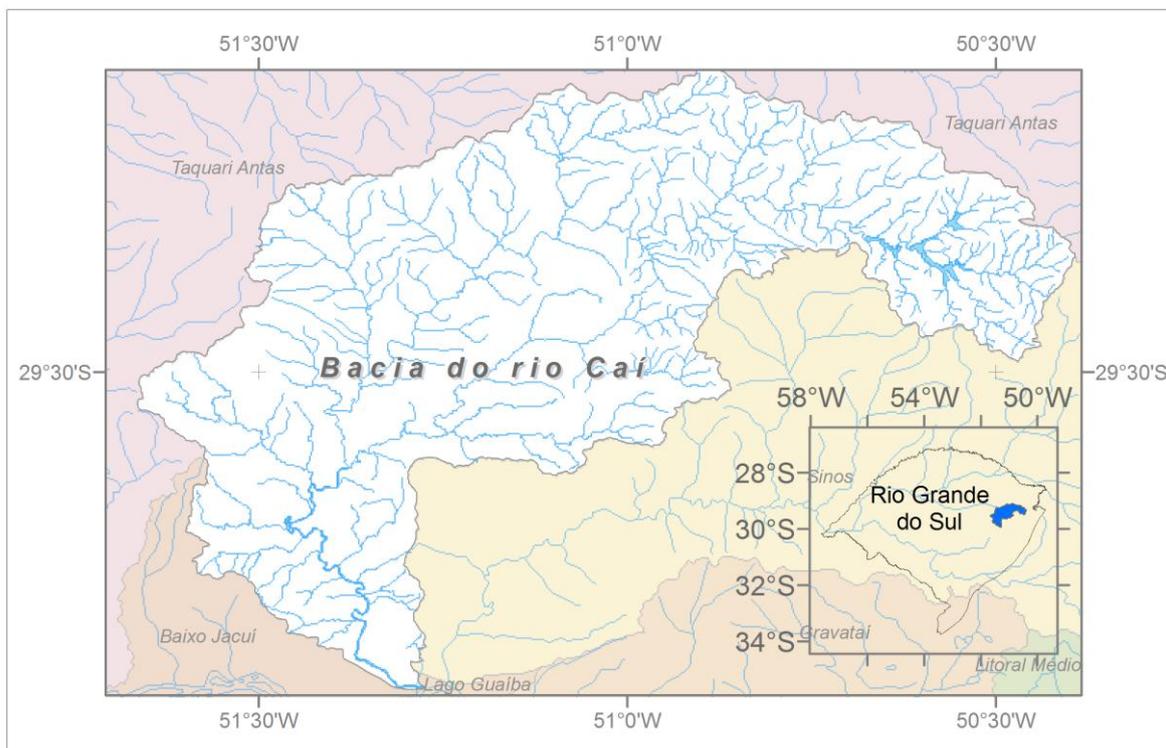


Figura 3 – Mapa de localização da bacia do rio Caí

A bacia do rio Caí apresenta, de acordo com a classificação de Köppen, dois tipos fundamentais de clima, fortemente influenciados pela morfologia: subtropical(Cfa) e temperado(Cfb). O clima subtropical ocorre na Depressão Central Gaúcha, que é a região da bacia com altitudes baixas e médias. A região do Planalto das Araucárias pertence à zona de clima temperado, onde as altitudes são muito maiores e as temperaturas mais baixas.

A temperatura média anual varia desde 16°C, nas cabeceiras da bacia, até em torno de 19°C, na foz. Quanto às chuvas, a área caracteriza-se por ser bem regada e por sua distribuição uniforme durante o ano, sem uma estação seca definida. Os totais pluviométricos variam desde 1900mm, nas cabeceiras, até entre 1400 e 1300mm, na foz da bacia. A umidade relativa média do ar varia entre 78 e 76%, sendo um pouco maior nas cabeceiras CPRM (1999).

Atualmente, a rede hidrometeorológica pertencente à ANA e operada pela CPRM/SUREG – PA é composta por 4 estações pluviométricas e 4 fluviométricas. A CEEE (Companhia Estadual de Energia Elétrica-RS) também opera uma rede de estações hidrométricas na bacia do Caí.

## 4. ETAPAS DO PROJETO

### 4.1. Concepção geral

Um sistema de previsão e alerta tem a finalidade principal de antecipação da ocorrência da inundação, permitindo o aviso à população e às autoridades, para que sejam tomadas as medidas necessárias, de maneira a reduzir os prejuízos resultantes da inundação. Além disso, o simples acompanhamento em tempo atual da evolução dos cenários hidrológicos pode ser muito importante, para a tomada de decisões em situações de emergência, principalmente pelo alcance social e pela amplitude da área afetada por estas decisões. Este sistema (figura 4) realiza as seguintes funções: (a) Coleta e transmissão de informações: sistema de monitoramento por rede telemétrica, e transmissão destas informações; (b) Recepção e processamento de informações: análise dos dados, previsão de níveis com modelo matemático, e avaliação dos resultados; (c) Divulgação e emissão, se for o caso, de alerta à Defesa Civil.

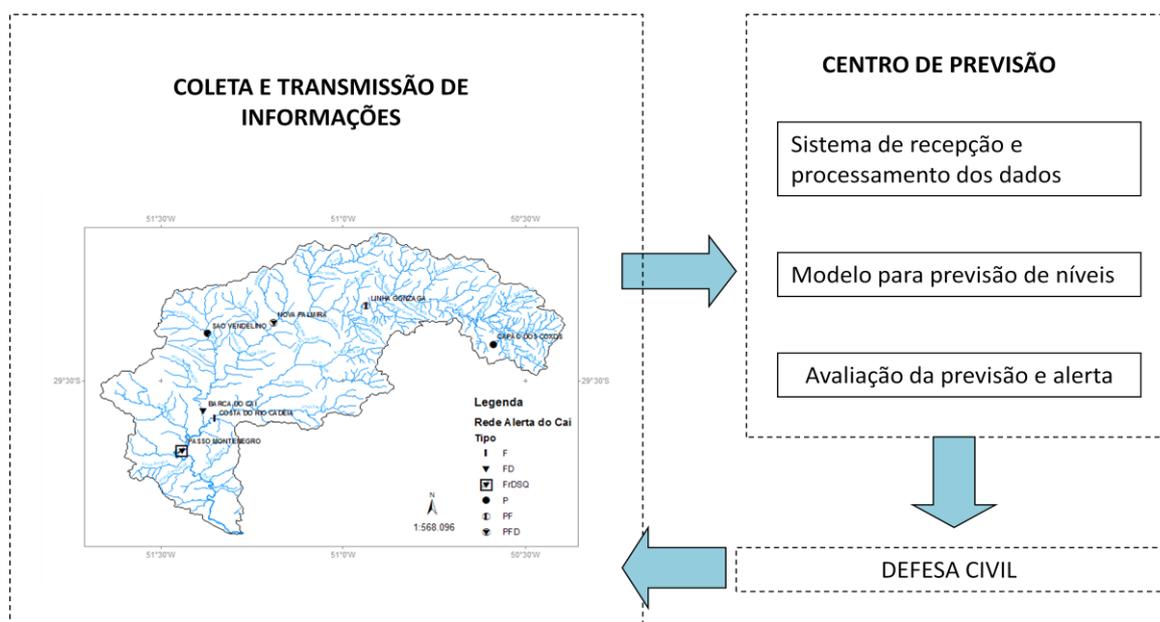


Figura 4 – Esquema de um Sistema de Monitoramento e Previsão

A implantação do sistema de monitoramento e previsão constitui-se das seguintes etapas: Definição dos pontos de monitoramento, aquisição de equipamentos telemétricos, instalação das estações e da central de aquisição de dados, elaboração do modelo matemático para a previsão de níveis em São Sebastião do Caí e Montenegro e acompanhamento da situação e dos resultados do modelo.

### 4.2. Definição dos pontos de monitoramento

Os critérios para a definição dos pontos de monitoramento compreendem: a) escolha de locais com séries históricas de dados, para o ajuste de um modelo matemático; b) obtenção de uma

distribuição abrangente em área, para a coleta de informações, que incluiu instalações de estações fluviométricas ao longo do rio Caí e seus principais afluentes e instalações de estações pluviométricas distribuídas de forma a garantir uma boa abrangência espacial. Preliminarmente, foram selecionados 8 pontos e posteriormente uma viagem de reconhecimento de campo definiu com maior precisão os locais e as estruturas necessárias para a instalação de novas estações e/ou para a instalação de equipamentos telemétricos no caso de estações em operação.

A definição da localização das estações, além dos critérios habituais para instalação de estações hidrométricas, como, por exemplo, boa exposição (no caso de estações pluviométricas), existência de um morador próximo ao local, com disposição para ser observador hidrológico, etc, foram verificados, mediante visita aos locais, entre outros aspectos, a existência de sinal GSM/GPRS, a segurança oferecida para a instalação de equipamentos e inexistência de obra hidráulica entre o ponto de monitoramento e os pontos de previsão de níveis;

#### **4.2. Aquisição dos equipamentos**

A configuração básica das estações telemétricas adquiridas e instaladas no campo inclui: sensores, equipamentos de armazenamento e transmissão de dados, equipamentos de alimentação e sistemas de proteção contra vandalismo e descargas elétricas, conforme relação abaixo:

Sensores:

Chuva – pluviômetro digital

Nível – sensor de pressão

PCD – Plataforma de Coleta de Dados:

Datalogger – armazena dados

Modem GPRS - transmite dados;

Fontes de alimentação:

Painel Solar

Bateria

#### **4.3. Instalação das estações e da central de aquisição de dados.**

Por definição uma estação telemétrica é capaz de ler e transmitir seus dados de forma automática, sem a necessidade da supervisão diária por parte de um operador. Um processador local recebe os dados dos sensores, armazena-os e, através de um protocolo de transferência de arquivos (FTP), os transmite à Estação Central de Monitoramento. A comunicação entre as estações remotas e a central de supervisão é realizada através de tecnologia GSM/GPRS.

Dos 8 pontos previamente selecionados, devido à disponibilidade financeira, foi possível instalar as 7 estações relacionadas na tabela 1 – Estações telemétricas instaladas na bacia do rio Caí e na figura 5 – Mapa da bacia do rio Caí com as estações telemétricas instaladas.

Tabela 1 – Estações telemétricas instaladas na bacia do rio Caí

Nome da estação	Tipo		Município	Curso d'água
	Original	Situação Atual		
Capão dos Coxos	-	PT	São Francisco de Paula	-
Linha Gonzaga	-	PFDQT	Caxias do Sul	rio Caí
Nova Palmira	PFDQ	PFDQT	Caxias do Sul	rio Caí
São Vendelino	P	PFDQT	São Vendelino	arroio Forromeco
Barca do Caí	FDQ	FDQT	São Sebastião do Caí	rio Caí
Costa do rio Cadeia Montante	-	PFDQT	São Sebastião do Caí	rio Cadeia
Passo Montenegro	FrDSQ	PFrDSQT	Montenegro	rio Caí

O tipo de estação obedece à seguinte codificação:

P – pluviométrica;

F – fluviométrica;

Fr – fluviométrica com registrador de nível;

D – com medição de descarga líquida;

Q – com determinação de parâmetros de qualidade da água;

T – transmissora de dados.

Na tabela 1, a coluna tipo/original refere-se ao tipo da estação antes das instalações previstas no projeto, que, ou eram estações convencionais como, por exemplo, Nova Palmira, ou não existiam, como, por exemplo, Linha Gonzaga. A coluna tipo/situação atual refere-se ao tipo após as instalações.

Na figura 6 é apresentada uma foto da estação Capão dos Coxos, onde se pode observar o pluviômetro digital, o painel solar, o gabinete onde estão o datalogger e placa modem e a antena para melhorar a intensidade do sinal GSM. Na figura 7 se pode observar a foto da estação São Vendelino, mais especificamente a estrutura onde está instalado o sensor de nível.

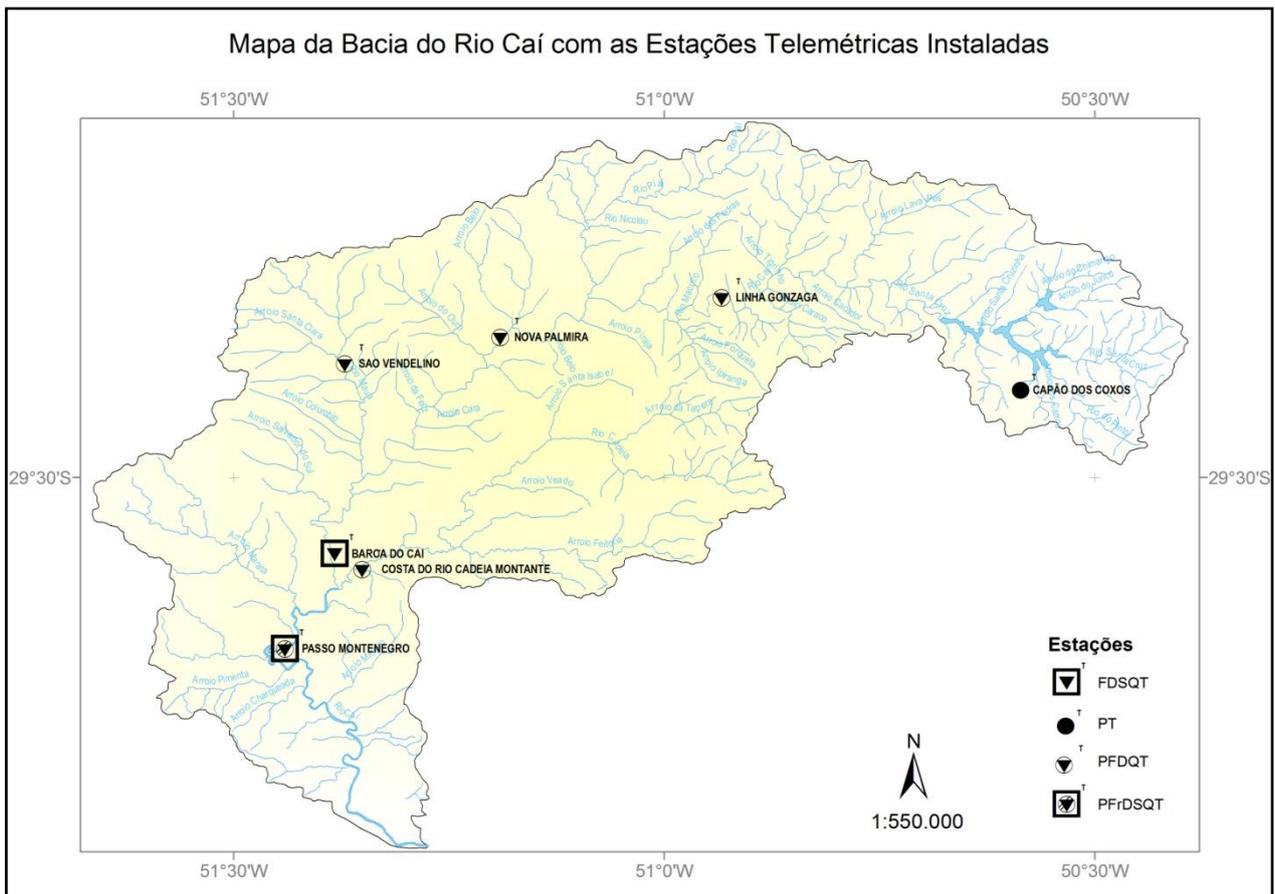


Figura 5 – Mapa da bacia do rio Caí com as estações telemétricas instaladas



Figura 6 – Foto da estação Capão dos Coxos



Figura 7 – Foto da estrutura de instalação do sensor de nível de São Vendelino

#### 4.4. Elaboração e testes do modelo

Num primeiro momento verificaram-se algumas dificuldades para fazer previsões de níveis na bacia do rio Caí. Entre as principais dificuldades estão o tamanho da bacia (apenas 4.938km<sup>2</sup>), o que resulta em respostas muito rápidas aos eventos de chuva. Considerando-se a frequência de coleta dos dados atualmente disponíveis, resultantes de estações convencionais, isto é, chuva às 7hs (total acumulado em 24hs) e níveis as 7 e 17hs, um primeiro estudo deve, forçosamente, ser restrito a esta frequência de dados.

Posteriormente, quando houver séries de dados históricos com maior frequência, será possível o desenvolvimento de modelos de previsão compatíveis com o investimento efetuado.

Com o objetivo de agregar experiência sobre previsão hidrológica para esta bacia, e proporcionar uma ferramenta para utilização das informações ora disponibilizadas em tempo atual, optou-se pelo desenvolvimento de um modelo composto de redes neurais artificiais, treinadas para as situações representadas pelas séries dos dados históricos acumulados até então, apesar das limitações impostas pela sua baixa frequência de aquisição.

As redes neurais artificiais são modelos computacionais biologicamente inspirados, que podem ser descritos na forma de grafos direcionados, onde as conexões representam os parâmetros, chamados de pesos sinápticos, em analogia às redes neurais naturais (figura 8), e os nós representam elementos de processamento, com funções internas (ditas de ativação), em geral não lineares.

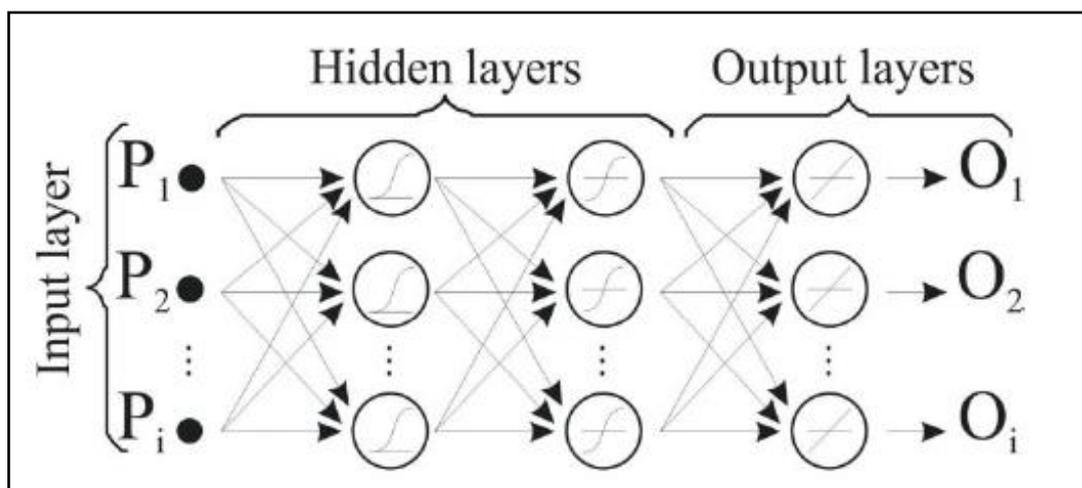


Figura 8 – Exemplo de rede neural artificial (Fantin-Cruz *et al.* (2010))

Os nós de entrada recebem as variáveis explicativas ou independentes, e os nós de saída resultam nas variáveis dependentes, ou explicadas. Portanto, são modelos empíricos não-lineares, cujo ajuste depende da disponibilidade de grande quantidade de dados. No caso de modelos de previsão de cheias, respectivamente, níveis ou vazões, umidade do solo, evaporação, chuvas, etc., em tempos anteriores ou no tempo atual, para as variáveis de entrada, e níveis ou vazões futuras (previstas) para as variáveis de saída.

#### 4.5. Acompanhamento e verificação dos dados transmitidos e dos resultados obtidos com o modelo de previsão

Esta atividade deve ser incorporada à rotina de operação do Sistema de Alerta Hidrológico e tem como principais objetivos verificar se todas as estações estão transmitindo dados, se estes dados estão corretos e avaliar os resultados obtidos nas previsões de níveis. É composta dos seguintes procedimentos:

- Verificar se todas as estações estão transmitindo dados e em caso negativo investigar o motivo;
- Comparar o nível do rio de determinada estação com a precipitação na própria estação ou numa estação próxima, conforme exemplificado na figura 9;
- Comparar os valores dos níveis das diversas estações entre si e com os dados de chuva, figura 10;
- Comparar os dados de chuva das diversas estações;
- Comparar os dados transmitidos com os dados convencionais;
- Comparar os dados de níveis previstos com os níveis reais.

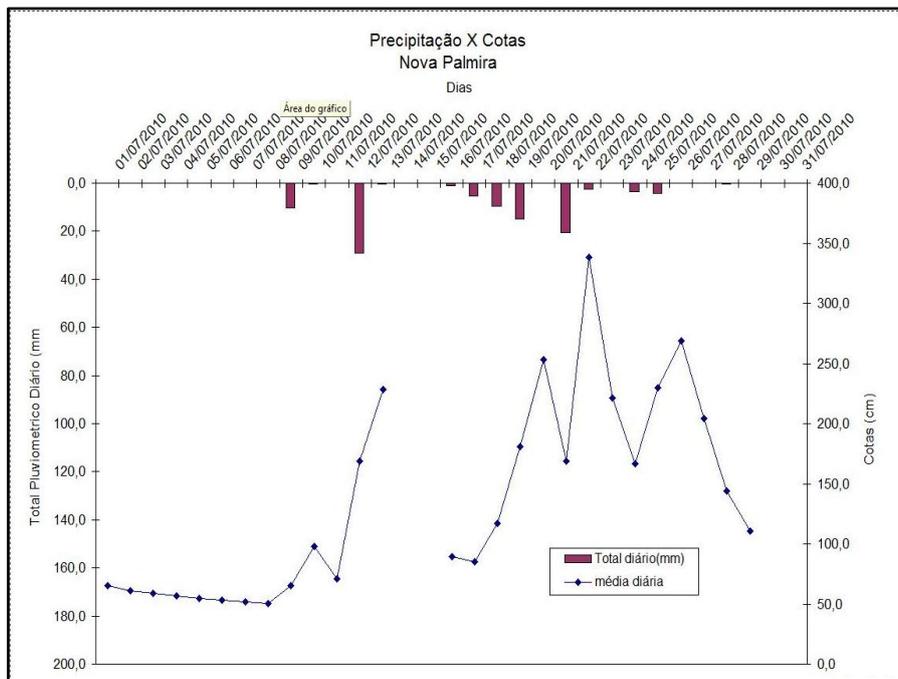


Figura 9 – Níveis e chuvas em Nova Palmira

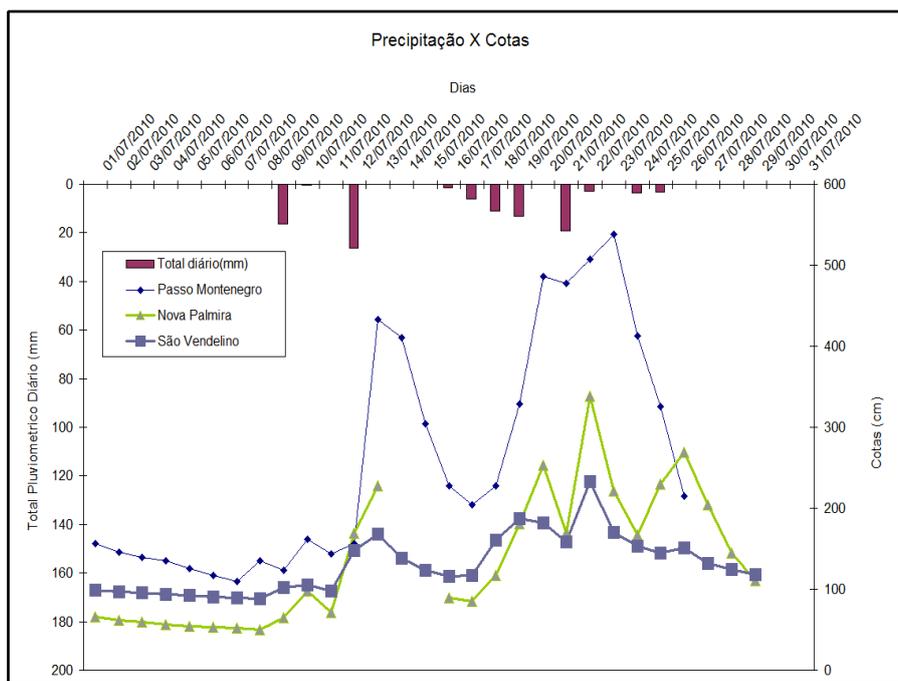


Figura 10 – Comparação entre os níveis dos rios e as precipitações de várias estações

#### **4.6. Disponibilização dos dados**

Os dados ainda não estão sendo divulgados, mas a idéia é apresentar as seguintes informações: (1) os níveis dos rios em todos os pontos de monitoramento (6 pontos); (2) o nível de permanência de 50% nos pontos onde existe série histórica dos dados (Nova Palmira, Barca do Caí e Passo Montenegro), o que permitirá ao público interessado comparar o nível atual de determinado ponto com seu nível mais freqüente; (3) o nível de início de inundação para as estações onde será realizada previsão de níveis (Barca do Caí e Passo Montenegro); (4) a previsão de nível para um horizonte de 10 horas para Barca do Caí e Passo Montenegro; (5) a chuva acumulada nas últimas horas (entre 01 e 24 horas).

Está previsto também um acompanhamento da situação hidrológica da bacia do rio Caí e das previsões nos pontos de interesse através de gráficos, permitindo uma visão geral do sistema.

#### **4.7 Desafios a serem vencidos**

Os principais problemas enfrentados dizem respeito ao funcionamento dos equipamentos telemétricos, que exigem manutenção constante e eventualmente substituições. O projeto, neste sentido, também está motivando a capacitação dos engenheiros e técnicos em hidrologia para trabalhar com equipamentos telemétricos, o que de certa forma vem de encontro à tendência atual de automação das estações hidrométricas.

Está prevista a implantação de um banco de dados para receber, controlar a qualidade, armazenar e disponibilizar os dados telemétricos. Além da aquisição automática, o banco de dados deverá também desempenhar, em outras, as seguintes funções: (1) criticar, em tempo atual, os dados recebidos; (2) avaliar o estado operacional dos sensores, dataloggers e sistemas de comunicação das estações remotas; (3) gerar estatísticas de falhas; (4) acompanhar a evolução de evento hidrológico, pela visualização da situação através da geração de relatórios, com gráficos e tabelas; (5) validar o alarme hidrológico de acordo com os dados disponíveis das várias estações; (6) permitir também a inclusão manual dos dados, em situações excepcionais.

### **5. CONCLUSÕES**

Além dos objetivos principais de implantação do sistema, quais sejam o acompanhamento e alerta hidrológico na bacia do rio Caí, está sendo gerada uma série de dados com intervalo de 15 minutos, o que possibilitará futuramente um aprimoramento do modelo hidrológico, visto que atualmente o modelo foi ajustado com dados de estações convencionais.

A implantação e operação inicial deste sistema proporcionaram inestimável experiência a toda à equipe envolvida no projeto. As necessidades para a sua operação são mais bem compreendidas

atualmente, e certamente haverá um incremento desta compreensão à medida que experiências sejam acumuladas.

Um exemplo é a percepção mais clara da necessidade do banco de dados com as funções descritas. Também foi observado que, devido à resposta muito rápida da bacia, os modelos de previsão não terão, com os dados convencionais, o nível de confiabilidade inicialmente desejado. Por outro lado, estudos já realizados permitem esperar um aprimoramento substancial decorrente da disponibilização de séries de dados com frequência de 15 minutos, a qual não seria possível sem a prévia implantação do sistema.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Caí pelo apoio ao projeto.

## **BIBLIOGRAFIA**

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. (1999). *“Projeto: Análise de consistência de dados fluviométricos Bacias do Atlântico Sul, trecho sudeste sub-bacia 87 sub-bacia do Rio Caí: relatório técnico”*. Porto Alegre-RS. 1v.

FANTIN-CRUZ, I.; PEDROLLO, O.C.; CASTRO, N.M.R.; GIRARD, P.; ZEILHOFER, P.; HAMILTON, S.K. (2011). *“Historical reconstruction of floodplain inundation in the Pantanal (Brazil) using neural networks”*. Journal of Hydrology 399, pp. 376-384.

PAIM, P. R.; OLIVEIRA, M. C.; COBALCHINI, M. S. (Coords.). (2006). *“Relatório Temático A.2 – Diagnóstico da disponibilidade hídrica (1ª Etapa do Plano de Bacia do Rio Caí: consolidação do conhecimento sobre recursos hídricos e enquadramento dos recursos hídricos superficiais)”*. Porto Alegre-RS. 1v.

REVISTA DO PLANO CAÍ: Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Caí, Porto Alegre, n.2, set., 2008.

TUCCI, C. E. M. (2007). *Inundações urbanas*. ABRH/RHAMA Porto Alegre-RS, 393 p.