

SISTEMA DE MONITORAMENTO DE BACIAS URBANAS NO MUNICÍPIO DE BLUMENAU-SC

Dirceu Luis Severo¹;Ademar Cordero²;J. C. Refosco³;Marcos R. Momo⁴

Resumo – Em novembro de 2008 um evento de precipitação extrema resultou em 24 mortes, seis desaparecimentos, 25.000 desalojados e 5.209 pessoas desabrigadas, totalizando danos da ordem de R\$ 1.100.000.000,00 apenas no município de Blumenau. Em decorrência desse evento o governo do estado de Santa Catarina através da FAPESC apoiou iniciativas para estudar as causas e propor medidas para minimizar os impactos de eventos futuros. Com recursos da FAPESC foi implantado um sistema de monitoramento hidrometeorológico em tempo real para cinco bacias urbanas no município de Blumenau (SC). Esse sistema é composto de nove estações telemétricas que enviam os dados em tempo real para o Centro de Operação do Sistema de Alerta de Cheias (CEOPS) operado pela Universidade Regional de Blumenau (FURB). A coleta dos dados é feita a cada cinco minutos e a transmissão é feita, via GSM, a cada 10 minutos. Esses dados são armazenados num banco para, futuramente, serem utilizados na calibração de modelos numéricos que fornecerão informações para um sistema de alerta/alarme contra inundações bruscas. Além disso, a distribuição dos pluviômetros permitirá monitorar as regiões mais susceptíveis a deslizamentos de solo e os dados de vento serão úteis na determinação das áreas mais frequentemente atingidas por vendavais.

Abstract - In November 2008 an extreme rainfall event resulted in 24 deaths, six disappearances, 25,000 displaced and 5,209 homeless, damage amounting to R\$ 1,100,000,000.00 in the municipality of Blumenau. As a result of this event the state government of Santa Catarina via FAPESC supported by initiatives to study the causes and propose measures to mitigate the impacts of future events. With resources deployed by FAPESC was implemented a hydrometeorological monitoring system in real time to five urban basin in the city of Blumenau (SC). This system consists of nine stations that send telemetry data in real time to the Operation Center Flood Alert System (CEOPS) operated by the Regional University of Blumenau (FURB). Data collection is done every five minutes and the transmission is made via GSM, every 10 minutes. These data are stored in a data center for in the future, be used in the calibration of numerical models that provide information to a system alert/alarm against flash floods. Moreover, the distribution of rain gauges will monitor the areas more susceptible to landslides and wind data will be useful in determining the areas most often hit by strong winds.

Palavras chaves: sistema de alerta, deslizamentos, enxurradas, precipitação intensa, bacias urbanas.

1- INTRODUÇÃO

Inundações e deslizamentos são fenômenos naturais do ponto de vista das geociências e influenciados pelas características locais, como: a geologia, geomorfologia, meteorologia e antropogenia. Tais fenômenos podem ocorrer tanto em áreas intocadas pela mão do homem, quanto em locais densamente povoados pelos seres humanos.

¹Professor do Departamento de Física da FURB, Doutor em Meteorologia. e-mail: severo@furb.br

² Professor do Departamento de Engenharia Civil da FURB, Doutor em Engenharia Hidráulica. e-mail: cordero@furb.br

³Professor do Departamento de Engenharia Florestal da FURB, Doutor em Engenharia Ambiental. e-mail: refosco@furb.br

⁴ Bolsista, Universidade de Valladolid, Doutorando em Tecnologia da Informação. e-mail: momo@furb.br

Desse modo, os efeitos adversos no ciclo hidrológico terrestre serão maiores à medida que os usos do solo forem inadequados, ou seja, sem um conveniente planejamento e gerenciamento das bacias hidrográficas, não importando suas dimensões e usos. Particularmente, as bacias urbanas são as mais delicadas, pois, elas apresentam uma quantidade cada vez maior de superfícies impermeáveis, um maior adensamento das construções, a conseqüente conservação do calor e a inevitável poluição atmosférica, propiciando a aceleração dos escoamentos das águas das chuvas, o aumento das vazões e a redução do tempo de pico.

A ocupação dos morros do município de Blumenau não é um caso recente. Desde o início da colonização a ocupação vem sendo realizada, mas um fator que acelerou a taxa de crescimento nessas áreas foram as grandes enchentes (1983 e 1984), que levaram a população a procurar os lugares altos. Além disso, o crescimento da população e a falta de planejamento levaram a um crescimento desordenado, permitindo que a população ocupasse as regiões mais altas e íngremes da cidade, incluindo áreas de florestas e de preservação.

As primeiras informações sobre enchentes na bacia do rio Itajaí foram resgatadas de documentação existente à época da colonização. Para o período de 1852 a 1939, há registros de eventos extremos e de 1939 até a presente data os registros são diários. Com base nesses documentos sabe-se que entre o período de 1852 a 2008 ocorreram 70 eventos onde o nível do rio Itajaí-Açu alcançou cotas superiores a 8,50 metros (referência IBGE).

Para minimizar os danos causados pelas inundações foram realizadas tanto obras estruturais quanto não-estruturais no Vale do Itajaí. Como obras estruturais foram construídas três barragens de contenção: a barragem Sul no município de Ituporanga, a barragem Oeste no município de Taió e a barragem Norte no município de José Boiteaux. Como obras não-estruturais pode-se citar o monitoramento hidrometeorológico e a previsão dos níveis em tempo real, que é realizado pelo Centro de Operação do Sistema de Alerta da Bacia do rio Itajaí (CEOPS) desde 1984.

O monitoramento dos níveis e da chuva é realizado continuamente através da coleta destes dados e as previsões dos níveis em tempo real são realizadas quando o CEOPS entra em seu estado de atenção (nível do rio Itajaí-Açu acima de 6,0 metros em Blumenau). A coleta dos dados é feita através de uma rede telemétrica constituída de 16 estações e também através de observadores.

O CEOPS foi criado em 1984 a partir de um convênio firmado entre a Fundação Universidade Regional de Blumenau (FURB) e o antigo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE).

A primeira rede telemétrica da bacia do rio Itajaí, implantada pelo DNAEE em 1984, era composta de cinco estações e foi atualizada em 1996 com mais quatro estações. Na segunda versão, os dados de nível de chuva eram coletados pela ANEEL através do satélite SCD1 e depois eram disponibilizados na Internet. Estes dados apresentavam uma defasagem temporal de 3 a 6 horas, em

média, além de irregularidades na passagem do satélite, que muitas vezes deixava de coletar os dados da bacia do Itajaí. Para corrigir este problema operacional foi acoplado um modem discado em cada uma das estações telemétricas da ANEEL, permitindo assim que os dados fossem transmitidos, via telefone, diretamente para o CEOPS na frequência desejada. Além disto, foram implantadas três novas estações telemétricas elevando para 12 o número de estações. Em 2008 foi proposta a última atualização e modernização da rede do Sistema de Alerta de Cheias da Bacia do Rio Itajaí. Com recursos provenientes do Governo do Estado de Santa Catarina foram instaladas 16 estações telemétricas que passaram a operar a partir de março de 2009. Os dados coletados nestas estações são enviados para a central de aquisição instalada no CEOPS a cada hora via sistema GPRS/GSM e satélite. A abrangência desta nova rede permite um monitoramento espacial com uma resolução até então não alcançada, tornando o repasse das condições hidrometeorológicas da bacia aos tomadores de decisão mais rápida e permitindo uma melhor eficácia do modelo hidrológico de previsão de nível para Blumenau.

Os fenômenos hidrológicos de escala espacial da bacia do rio Itajaí já estão sendo monitorados em tempo real a quase três décadas. Contudo, eventos extremos com as peculiaridades de ocorrência espacial mais restrita, tempo de resposta muito rápido e danos mais catastróficos não são ainda monitorados por falta de uma instrumentalização e de estudos que não foram realizados exatamente pela falta de dados com a resolução espacial e temporal adequada. Após a ocorrência do evento extremo de novembro de 2008, com o propósito de suprir parcialmente a deficiência na cobertura de dados de Blumenau, a equipe do CEOPS elaborou uma proposta para a implantação de um sistema de monitoramento nas principais sub-bacias urbanas do município. Nesta proposta estava prevista a instalação de sensores de nível, chuva, temperatura, umidade e direção e velocidade do vento.

As características técnicas e o funcionamento deste sistema de monitoramento são apresentados neste trabalho.

2- DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O critério para definir o posicionamento das estações levou em conta o objetivo principal que é a previsão dos níveis dos ribeirões. Por isso, o sensor de nível foi instalado em um ponto próximo da foz, mas de acordo com condições de segurança enquanto o sensor de precipitação foi instalado a montante, mais próximo das nascentes do ribeirão. As características das estações e a quantidade de estações são mostradas na tabela 1.

TABELA 1 – DESCRIÇÃO DAS ESTAÇÕES DO SISTEMA DE MONITORAMENTO

Bacia	Quantidade	Tipo de estação e sensores
Ribeirão Garcia	2	1- Meteorológica: Direção e velocidade do vento, temperatura, umidade, precipitação 2 – Hidrológica: Nível da água
Ribeirão da Velha	2	1- Meteorológica: Direção e velocidade do vento, temperatura, umidade, precipitação 2 – Hidrológica: Nível da água
Ribeirão Fortaleza	2	1- Hidrológica: Precipitação e nível da água 2- Pluviométrica: precipitação
Ribeirão Itoupava	2	1- Meteorológica: Direção e velocidade do vento, temperatura, umidade, precipitação 2 – Hidrológica: Precipitação e nível da água
Ribeirão do Texto	1	1- Meteorológica: Direção e velocidade do vento, temperatura, umidade, precipitação, nível da água

A localização das estações é mostrada na figura 1. Nessa figura, M1, M2, M3 e M4 indicam as estações meteorológicas, F1, F2, F3 e F4 as estações hidrológicas e P1 a estação pluviométrica. Neste conjunto de estações foram incorporadas a estação meteorológica da FURB (MF) e a estação hidrológica pertencente ao Sistema de Alerta de Cheias da bacia do rio Itajaí (FB) que está localizada no centro da cidade de Blumenau. Estas duas últimas também são estações automáticas e o intervalo de coleta dos dados coincide com o das outras estações.

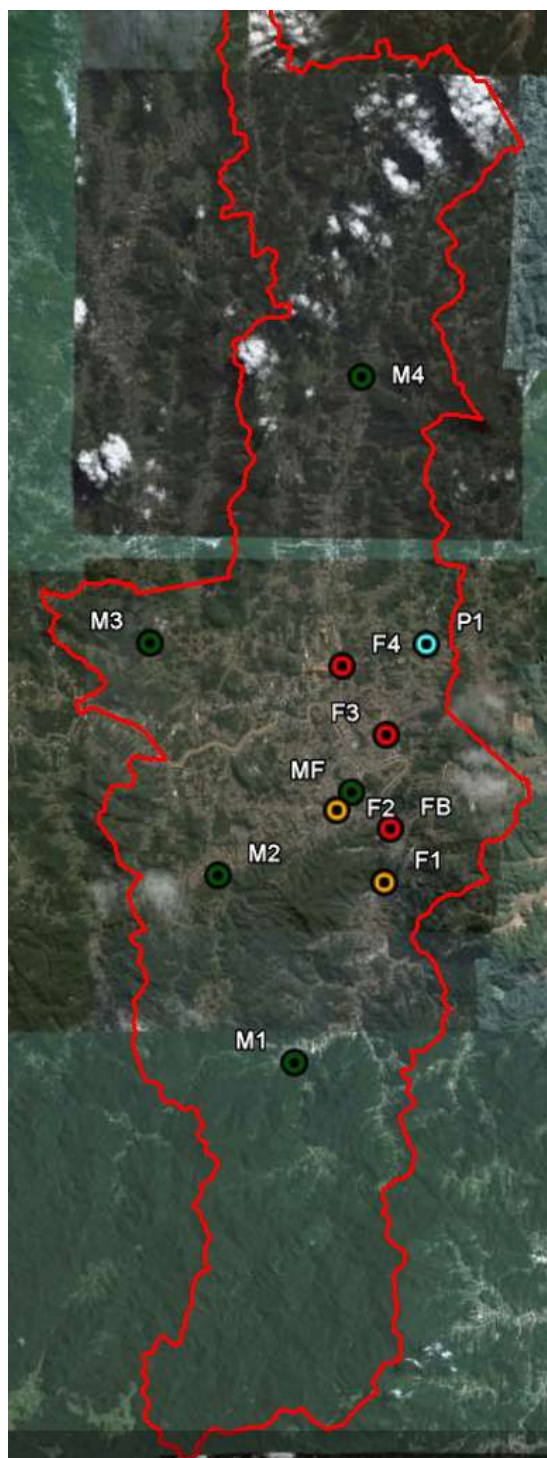


Figura 1. Mapa do município de Blumenau com a localização das estações automáticas.

Na figura 2 é mostrada a seqüência de atividades para instalação do sensor de nível na estação do Rio do Testo. A instalação dos outros quatro sensores de nível seguiu quase os mesmos procedimentos. Pela questão de segurança, procurou-se instalar o sensor próximo de pontes. Em cada um dos locais devido a distância do ribeirão ao ponto onde foi instalado o datalogger foram necessárias várias caixas de passagem para facilitar a retirada do sensor quando for feita a manutenção. Foram utilizados tubos plásticos para conduzir o cabo do sensor e, na extremidade, um

tubo de ferro galvanizado com perfurações para permitir a entrada da água que faz o contato com o sensor de pressão. A extremidade do tubo de ferro que está próxima da água foi submetida a uma camada de concreto para evitar seu deslocamento com a força da corrente em eventos de grande fluxo. O datalogger, o sistema de alimentação e os demais sensores são afixados num tubo também de ferro galvanizado com seis metros de altura.

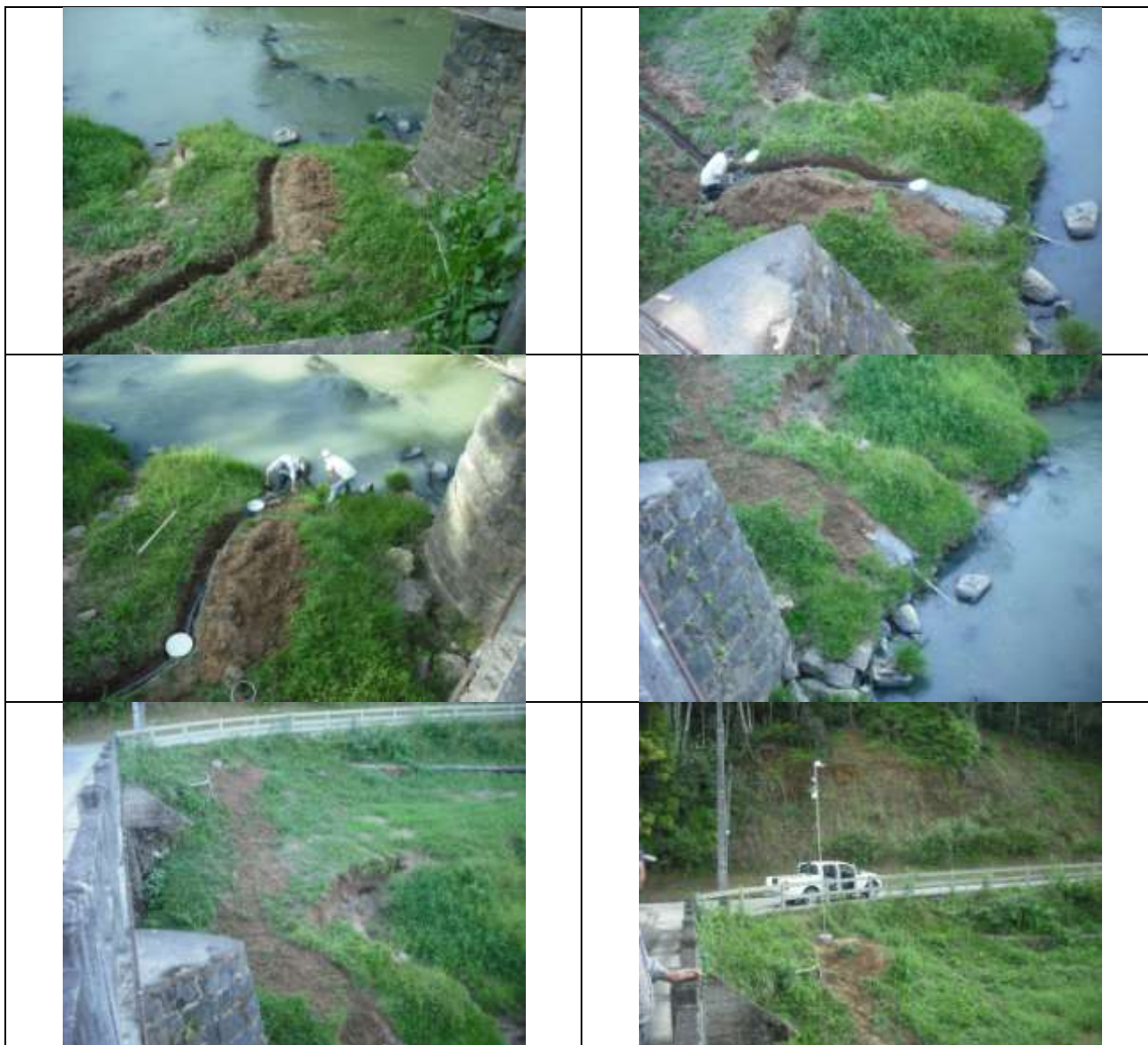


Figura 2. Seqüência do procedimento de instalação do sensor de nível da estação do Rio do Teste.

A transmissão dos dados é feita de acordo com uma programação definida no Ceops. Todos os sensores coletam dados a cada cinco minutos que ficam armazenados no datalogger e são enviados, via GSM, em intervalos ajustáveis de 10 minutos até uma hora. Quase instantaneamente, as informações são atualizadas na página da internet do Sistema de Alerta de Cheias, no endereço ([HTTP://ceops.furb.br](http://ceops.furb.br)). As figuras 3 e 4 mostram a forma como um usuário visualiza a página do

Ceops e encontra a lista das estações automáticas do sistema de monitoramento. Na barra “Sistema de Alerta” escolhe-se a opção “Monitoramento de Blumenau”. Aparecerá na tela a lista de estações disponíveis. Ao clicar sobre uma delas, uma nova janela se abrirá mostrando os dados disponíveis até aquele instante (Figura 5).



Figura 3. Página do CEOPS destacando a opção *Monitoramento de Blumenau*.



Figura 4. Página do CEOPS mostrando a lista de estações automáticas disponíveis.

Ao visualizar os dados disponíveis em uma das estações, a forma de apresentação destes dados depende da quantidade de sensores disponíveis. Na figura 5, para a estação do Ribeirão do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos

Testo, estão disponíveis em forma de gráfico, os dados de temperatura, umidade relativa, temperatura do ponto de orvalho, nível do rio, velocidade do vento, velocidade máxima do vento, direção do vento e precipitação. Na barra logo abaixo do nome da estação existem três opções de visualização: 1) dados últimas 24 horas (Past Day); 2) dados dos últimos sete dias (Past Week) e 3) dados dos últimos 30 dias (Past Month). Na coluna à esquerda dos gráficos são apresentados os valores numéricos da última leitura dos sensores, o horário das últimas conexões e uma informação do intervalo esperado para a próxima conexão. Por fim, na parte inferior encontram-se os arquivos numéricos de todo o histórico da estação.

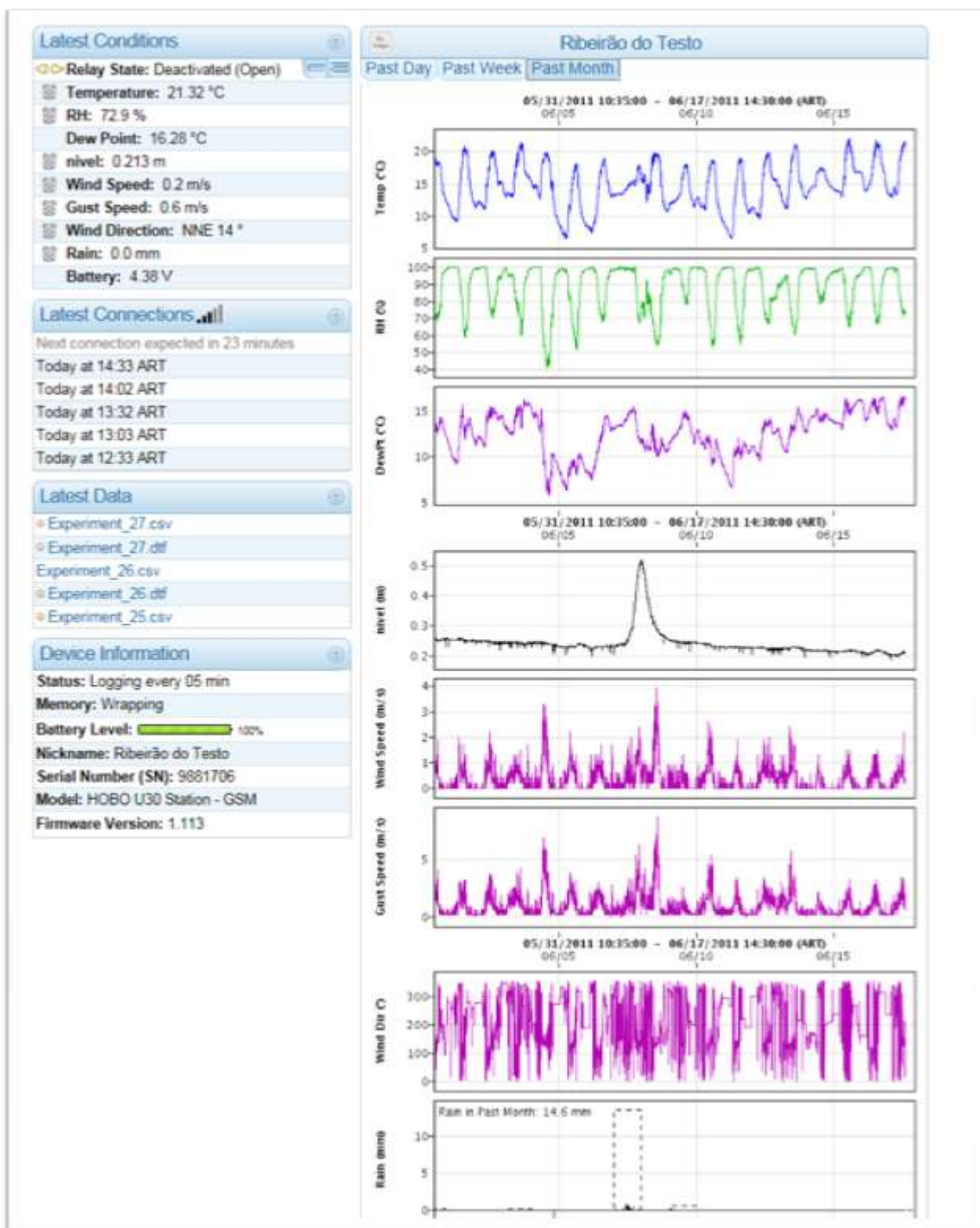


Figura 5. Visualização dos dados das estações do Sistema de Monitoramento.

3- RESULTADOS

Os dados obtidos nas estações automáticas estão sendo armazenados em um banco open source e estão disponíveis para consulta pública na página do Ceops ([HTTP://ceops.furb.br](http://ceops.furb.br)).

As simulações e os testes com modelos de previsão de enxurradas baseados em Redes Neurais Artificiais (RNA) serão realizadas utilizando o toolbox do software Matlab. O tipo de RNA a ser utilizada é a perceptron de múltiplas camadas (MLP, multilayer perceptron) e o algoritmo de aprendizagem será o de retropropagação (back propagation). O skill do modelo será avaliado através do cálculo de alguns índices de erros. O treinamento da rede será realizado com dados de chuva e nível para eventos extremos registrados pela rede instalada.

Além das previsões para os ribeirões das cinco sub-bacias, serão realizadas simulações e testes com o modelo numérico de previsão para o nível do rio Itajaí-Açu no centro de Blumenau utilizando as previsões de chuva do modelo ETA do CPTEC. As rodadas do modelo ETA ocorrem duas vezes ao dia e as previsões são válidas para até 5 dias. Para comparação do desempenho do modelo serão utilizados os dados de nível e chuva registrados pela rede telemétrica e convencional instalada na bacia do rio Itajaí. Com base nestas previsões de chuva, o modelo de previsão de nível para Blumenau permanecerá rodando em tempo real e não apenas nas situações de alerta.

Também estão sendo mapeados os pontos de deslizamentos ocorridos no evento de novembro de 2008 utilizando imagens de satélite de média e alta resolução e cartografia básica da área de estudo. No estudo está sendo utilizado o programa ARCGIS para organização do sistema de informações geográficas (SIG) e o programa ENVI e ECOGNITION para estudo e tratamento das imagens de satélite. Serão obtidos e utilizados mapas temáticos da área de estudo, na escala 1:250.000 e informações do atlas da bacia do Itajaí. Tais informações são inseridas no SIG para posterior análise de correlação com os dados provenientes do mapeamento de eventos históricos de movimentos de solo. São avaliadas variáveis tais como: geologia, geomorfologia (formas do relevo e declividade do solo), vegetação e uso do solo, grau de intervenção antrópica e tipo de solo. O mapeamento realizado será checado através de metodologia da matriz de verdade de campo. Após o mapeamento, os dados serão analisados e se buscará a correlação entre os eventos de movimentos do solo e fatores ambientais através de técnicas de análise espacial. Técnicas como a simples sobreposição de mapas, a análise por zonas e a avaliação da correlação espacial serão aplicadas.

Relações entre os deslizamentos de solo, precipitação e outros fatores ambientais são investigadas a partir dos registros na Secretaria de Defesa Civil da Prefeitura Municipal de Blumenau para o período de 1990 a 2008. Serão avaliados critérios como intensidade, duração e período de precipitação antecedente ao evento de escorregamento.

4- CONCLUSÕES

Após a implantação completa do sistema, o Centro de Operação do Sistema de Alerta de Cheias poderá contar com:

1. Um rede telemétrica constituída por quatro estações meteorológicas e cinco Hidrológicas;
2. Um banco de dados de chuva, nível, vento, temperatura e umidade do ar;
3. Modelos hidrológicos para pequenas bacias baseados nos dados das estações telemétricas;
4. Um sistema de monitoramento e alerta de eventos extremos;
5. Modelo de previsão de nível para Blumenau baseado na previsão de chuva do modelo ETA;
6. Mapas de regiões de risco de deslizamentos de solo para o município de Blumenau;
7. Tabelas de correlação entre a precipitação e outros fatores ambientais e as zonas de risco de deslizamento de solo para o município de Blumenau.

A implementação deste projeto trará benefícios concretos de forma direta e indireta. De forma direta serão beneficiados moradores de áreas de risco e de forma indireta toda a sociedade do município de Blumenau e dos municípios vizinhos.

Em primeiro lugar a defesa civil poderá fazer uso dos resultados como forma de melhor organizar o planejamento e a operação do sistema de alerta contra eventos extremos, bem como nas operações em momentos de crise em função destes eventos. Dentre este grupo de benefícios está a possível redução no número de vítimas fatais e minimizar os danos originados dos fenômenos desta natureza.

Os setores responsáveis pelo planejamento regional de urbano terão acesso a informações e poderão utilizá-las para melhor executar suas atribuições, desenvolvendo instrumentos de planejamento mais adequados às situações de risco de eventos extremos e suas conseqüências. A gestão urbana também será impactada positivamente, pois terá à disposição informações e instrumentos capazes de auxiliar em momentos de crise, antes e depois das mesmas, reduzindo as conseqüências negativas quando não as evitando. A gestão ambiental da mesma forma disporá de instrumentos capazes de melhor assimilar tais conseqüências. A redução do dano em locais que a comunidade habita ou que as atividades econômicas se desenvolvem será um fator de grande benefício e possibilitará o desenvolvimento social em melhores termos.

Do ponto de vista econômico, os benefícios do projeto serão de grande importância, pois implicará na redução das perdas materiais provocadas por fenômenos extremos em Blumenau e nos municípios vizinhos, região que compreende uma população da ordem de 300 mil habitantes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESC pelos recursos financeiros que possibilitaram a implantação do sistema de monitoramento descrito neste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

CEOPS. (2010). Centro de Operação do Sistema de Alerta da Bacia do Rio Itajaí. Página Web: <http://ceops.furb.br>. Último acesso: 08/2011.

DEFESA CIVIL de SC. **Enchentes de 2008**. Disponível em: <<http://www.desastre.sc.gov.br>> Acesso em 14/08/2009.