

239334

ALERTA A INUNDAÇÕES: UMA NOVA ABORDAGEM

Mirian Rita Moro Mine

e *Marcos Lacerda Pessoa*

RESUMO

Algumas ações para o controle de cheias, como construção de diques e reservatórios, são chamadas "medidas estruturais". Uma outra forma de se tratar as enchentes constitui as chamadas "medidas não-estruturais", como o desenvolvimento de um sistema de alerta a inundações. Neste trabalho, fala-se da necessidade de desenvolver um sistema de alerta para a bacia hidrográfica do Rio Iguaçu, sujeita freqüentemente aos efeitos catastróficos das enchentes, procurando, desta forma, diminuir prejuízos materiais e proteger vidas humanas. Uma nova abordagem, baseada em modelos de transformação chuva-vazão distribuídos, poderá ser operacionalizada graças à implantação do Sistema Meteorológico do Paraná - SIMEPAR, que fornecerá as informações necessárias para armazenar o modelo, baseadas em sensoriamento remoto, radares meteorológicos e dados georeferenciais.

Mirian Rita Moro Mine, é engenheira da COPEL, pesquisadora do SIMEPAR, Professora Classe Adjunto da Universidade Federal do Paraná - UFPR, Mestre em Hidrologia e Recursos Hídricos pela EPUSP e doutoranda pela Universidade do Rio Grande do Sul - UFRGS/IPH.

Marcos de Lacerda Pessoa, é Diretor-Geral da Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior - SETI, Professor Visitante da EPUSP, Mestre e PhD em Hidrologia e Recursos Hídricos pela Universidade de Birmingham, Pós-Doutor em Hidrometeorologia pela Universidade Salford, Pós-Doutor em Meteorologia pelo M.I.T.

Chama-se cheia a elevação do nível de um curso de águas provocada pelas chuvas. Quando há extravasamento da calha natural do rio, e conseqüente inundação das regiões vizinhas, tem-se uma enchente.

Certas enchentes podem ser benéficas, uma vez que fertilizam o solo, tal como ocorre com as várzeas do rio Nilo, no Egito. Na maioria das vezes, as enchentes são causas de mortes, destruição, interrupção de atividades econômicas e sociais e, portanto, surge uma necessidade premente de tentar evitá-las.

O fato de proteger a região contra todas as cheias, mesmo as mais raras, pode representar uma parcela muito alta para a economia do país. Protegem-se, portanto, as pessoas e os bens contra cheias que não ultrapassem um determinado valor, formulado de maneira mais ou menos explícita, ao qual se dá o nome de cheia de projeto. Admite-se que não existam obras de defesa contra cheias capazes de evitar catástrofes nos períodos de retorno, por exemplo, centenal, milenar ou decamilenar. Estas catástrofes constituiriam a chegada de cheias superiores à cheia de projeto. Para grandes obras hidráulicas, como o dimensionamento de vertedouros de usinas hidrelétricas, o risco que se corre é pequeno, uma vez que a probabilidade de ocorrência da cheia decamilenar em um ano qualquer é de 1 em 10.000.

A prevenção dos prejuízos causados pelas enchentes podem resultar:

- *de medidas administrativas e políticas em matéria de gerência do território, de construções urbanas e rurais, de equipamentos coletivos, de implantações agrícolas, de seguros, de fiscalizações, etc;*

- *de medidas técnicas que consistem em:*

- *reduzir os níveis de água a jusante, através de uma política de gerência do solo e de reflorestamento;*
- *facilitar o escoamento das águas que se acumulam à montante, suprimindo uma parte dos obstáculos que retardam o escoamento;*
- *reter ou derivar uma parte das águas dos lagos, reservatórios ou campos de inundação, especialmente dispostos para esse efeito;*

- *separar os cursos de água das propriedades ribeirinhas por diques e aterros;*

- *remanejar os proprietários ribeirinhos através de um planejamento consciente do uso do solo.*

Do ponto de vista do gerenciamento dos recursos hídricos, algumas destas ações, como construção de diques e aterros, são chamadas de "medidas estruturais". Uma outra forma de se tratar as enchentes constitui o chamado "enfoque não-estrutural", como por exemplo, o desenvolvimento de um sistema de alerta a inundações.

Um sistema desse tipo tem como objetivos monitorar em tempo-real variáveis hidrometeorológicas e níveis de água em rios e reservatórios; consistir dados observados, isto é, corrigi-los de possíveis erros aleatórios ou sistemáticos; prever cheias e ou estados hidrológicos críticos por meio de modelos matemáticos; disseminar informações, ou seja, dados e previsões em tempo hábil para a ação dos órgãos envolvidos.

Segundo BRAGA (1992), "a grande vantagem desse sistema é o seu baixo custo, face aos benefícios advindos de sua implantação. O sistema de previsão é também uma ferramenta extremamente útil para operar as obras de controle de cheias. Portanto, o sistema de alerta complementa as obras estruturais, uma vez que essas são projetadas", conforme mencionado anteriormente, dentro de um certo risco admissível, de que venham a falhar durante a sua vida útil.

Esse sistema não interfere no processo de formação e desenvolvimento do escoamento superficial, mas permite prever situações hidrológicas críticas e, deste modo, acionar todas as entidades envolvidas no problema.

Atualmente, existe uma preocupação em desenvolver sistemas integrados de previsão meteorológica e hidrológica. Isto conduz a benefícios sócio-econômicos imediatos, principalmente em bacias hidrográficas como a do Rio Iguaçu, no Estado do Paraná, que tem um grande potencial energético, já praticamente todo aproveitado, resultando numa cascata de reservatórios que precisam ser operados em tempo-real.

Muitas cidades, nascidas às margens do Rio Iguaçu, sofrem constantemente as conseqüências das enchentes e existe uma preocupação em solucionar o problema ou ao menos amenizá-lo.

Um sistema de alerta pode possuir diversos modelos de previsão hidrológica. Esta distinção deve-se ao tipo de informação disponível. Quando existem somente dados fluviométricos e pluviométricos, a transformação da chuva em vazão pode ser feita através do método clássico da função de transferência ou hidrograma unitário. Quando se dispõe de informações de sensoriamento remoto, radares meteorológicos e dados georeferenciáveis, a modelagem distribuída é a mais adequada.

Na terminologia da "teoria de sistemas", o processo de transformação da chuva em vazão ocorre em um sistema (bacia hidrográfica) onde uma entrada (chuva) é transformada numa saída (vazão) através de uma função de transferência ou através de um conjunto de equações que procuram descrever detalhadamente o processo de transformação. Neste último caso, a bacia hidrográfica é dividida em uma malha, normalmente quadrada, e o conjunto de equações é aplicado a cada um dos elementos da malha. A função de transferência caracteriza um modelo-chuva vazão do tipo concentrado (lumped), onde a variável de interesse é a vazão de escoamento superficial na exutória da

bacia e o sistema de equações pode caracterizar um modelo distribuído, onde o escoamento superficial é obtido em qualquer ponto de interesse dentro da bacia.

Para sistemas concentrados lineares, o processo de transformação é expresso pela integral de convolução, dada pela **equação (1)** e ilustrada pela **figura 1**.

$$Q(t) = \int_0^t I(\tau) h(t - \tau) d\tau$$

onde:

- Q(t)** - vazão não exotória da bacia;
- I(t)** - intensidade da chuva efetiva no tempo **t**;
- h(t)** - ordenadas da função de transferência no tempo **t**;
- h(t - τ)** - chamado Kernel, representa a memória de **Q(t)** para a entrada **I(τ)** correspondente ao tempo anterior **t - τ**.

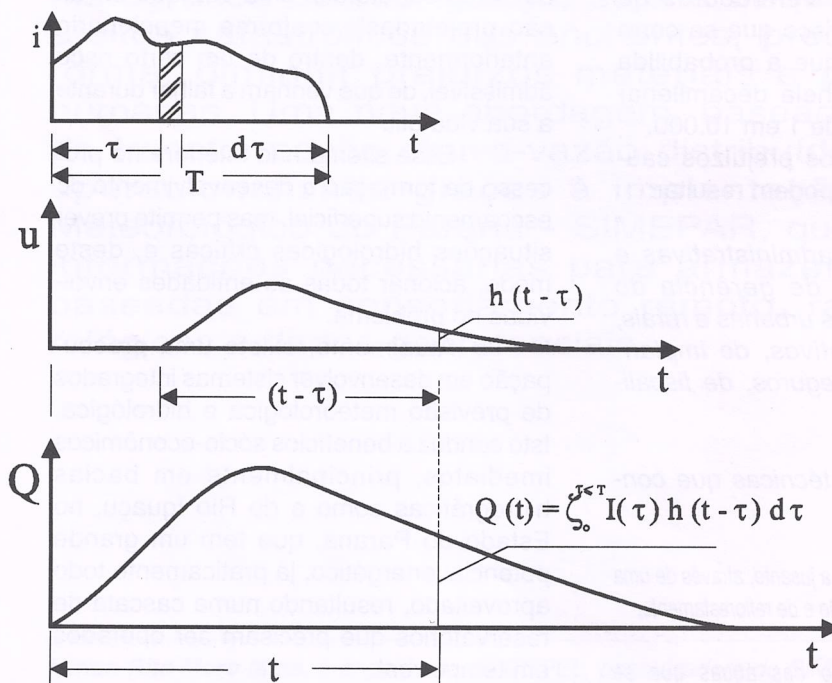


Fig. 1 - Definição esquemática do hidrograma de escoamento.

A função de transferência contém certos parâmetros do modelo que podem ser avaliados pelo procedimento de calibração, usando um ou mais pares das funções de entrada $I(t)$ e de saída $O(t)$.

Os parâmetros dos modelos de sistemas distribuídos são determinados usando-se relações que englobam características físicas da bacia hidrográfica, algumas das quais podem, atualmente, ser obtidas através de Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

O uso de modelos conceituais para previsão de cheias, quer concentrados ou distribuídos, requer conhecimento de dois diferentes tipos de informações:

- características físicas da bacia para estimativa dos parâmetros do modelo como área de drenagem, tipo de solo, declividade, etc;

- entradas para o modelo, sendo essas informações, ao contrário das anteriores, dependentes dos eventos pluviiais.

Na Hidrologia Clássica, ambas as informações podem ser obtidas "in situ" a partir das características físicas, climáticas, morfológicas da bacia hidrográfica, a partir de mapas e de medidas hidrometeorológicas. Atualmente, tanto a estimativa dos parâmetros do modelo como os dados de entrada tornam-se possíveis através de sensoriamento remoto e observações pluviométricas obtidas com radares meteorológicos.

Essas técnicas, quando usadas para estimar os parâmetros dos modelos, são vantajosas, principalmente quanto à alta resolução espacial, enquanto a

correspondente baixa resolução temporal não é relevante, uma vez que os parâmetros do modelo não variam rapidamente com o tempo.

A alta resolução no espaço de observações obtidas dos satélites SPOT (10m x 10m) e LANDSAT 5 (30m x 30m) permite informações detalhadas do tipo de solo, cobertura vegetal, uso do solo, densidade de drenagem e outros fatores, permitindo o uso de modelos distribuídos de alta resolução.

Esse modelo complexo faria uso de toda informação disponível com uma alta resolução no espaço e no tempo. A **Figura 2** dá uma indicação dessa situação, onde cada sensor de uma plataforma coleta dados para cada pixel. Se, por exemplo, um satélite geoestacionário registra observações a cada meia hora, em 3 bandas espectrais com pixel de tamanho 5 x 5 km, para um evento de 3 dias de duração, as seguintes informações devem ser processadas: *3 bandas espectrais por 1.000 pixels por 3d x 48 imagens d⁻¹ ou seja, 432.000 dados*. Ainda, um modelo pode ter uma função de transferência própria para cada pixel e cada sensor, isto é, no exemplo acima ter-se-iam 3.000 funções de transferência.

Após muitos séculos, durante os quais os hidrólogos conviveram com o problema de carência de dados, agora defrontam-se com a situação inversa, onde os dados são abundantes e muitos deles até desnecessários para o fim desejado.

A questão principal agora é saber qual informação é realmente relevante e que modelos matemáticos são apropriados para trabalhar com esses dados.

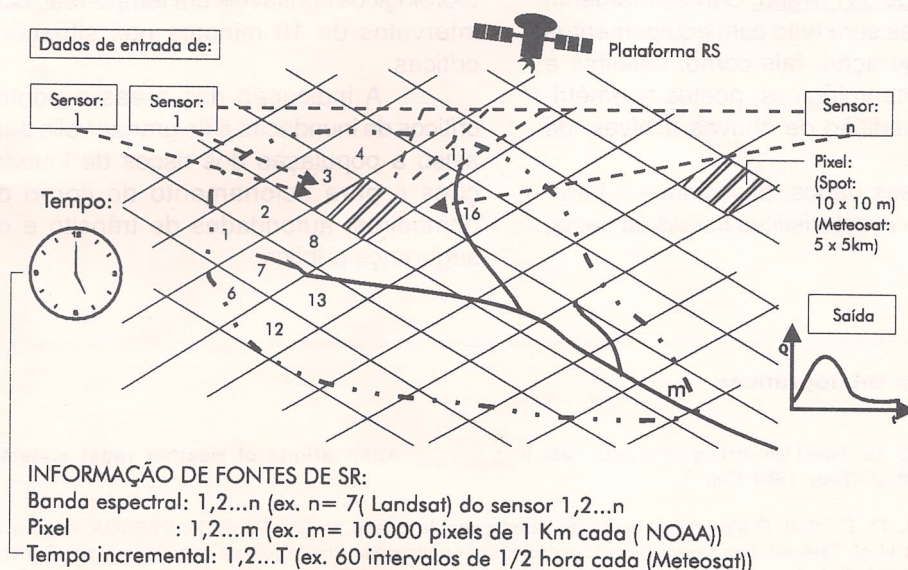


Fig. 2 - Dados de sensoriamento remoto para modelos hidrográficos.

Obviamente, muitos pixels dentro da bacia são hidrológicamente similares, o que significa que eles têm o mesmo tipo de solo, recobrimento vegetal, declividade, geologia, etc. Tais conjuntos de pixels podem ser agrupados formando unidades hidrológicas.

O maior obstáculo, para a modelagem precisa do comportamento da bacia, está associado aos dados de entrada (chuva) para o modelo.

Com base num grande número de modelos hidrográficos, *Wilson et al (1979)* citados por *Collier (1989)*, constataram que a distribuição espacial da chuva tem uma influência marcante no comportamento do hidrograma de escoamento. Mesmo nos casos em que tanto a altura pluviométrica quanto o caráter temporal da precipitação são obtidos com precisão, erros sérios podem ocorrer no volume total, no pico e no tempo de ascensão dos hidrogramas estimados, quando os padrões espaciais de precipitação não forem bem representados. Tais erros são grandes quando se tratam de chuvas frontais e tornam-se ainda maiores no caso de tempestades intensas localizadas. Entende-se que os benefícios advindos de uma preocupação de melhorar a representação espacial da chuva e a estrutura dos modelos de previsão em tempo-real não consideráveis.

Dentre os diversos benefícios esperados do Sistema Meteorológico do Paraná - SIMEPAR, pode-se destacar a instalação de um sistema de alerta de eventos hidrológicos críticos para a bacia do Rio Iguaçu. O SIMEPAR constará de um sistema sofisticado de coleta, processamento e disseminação de informações hidrometeorológicas em tempo-real para todo o Estado do Paraná. O monitoramento das estações será feito com equipamentos de última geração, tais como: satélites e radares meteorológicos, postos telemétricos para medição de chuvas e níveis de rio.

Esses dados, associados a informações de características físicas da bacia,

obtidas por sistemas georeferenciáveis (*Pessoa et al, 1993*), podem ser muito eficientes quando aplicados a modelos de transformação chuva-vazão distribuídos.

Tendo em vista que as previsões de cheias são realmente úteis se puderem ser disseminadas rapidamente, o Sistema Meteorológico do Paraná, SIMEPAR, através do subsistema de disseminação de informações, pretende dotar a população de risco da bacia do Rio Iguaçu de um painel eletrônico. Para isso, foi desenvolvido o "software" METINFO, de disseminação de informações, através do qual a comunicação com o usuário é feita ponto-a-ponto por linhas discadas, com modernos assíncronos. Através do METINFO, o usuário poderá acessar o painel eletrônico que traçará os perfis de alagamento, indicando pontos críticos e cotas atingidas pela inundação. O painel simulará também a cascata de reservatórios do Rio Iguaçu, o que facilitará a operação hidráulica dos reservatórios, respeitando-se restrições de montante e de jusante.

Um sistema de alerta sofisticado somente tem sentido se as ações decorrentes forem ágeis, se o sistema de comunicação funcionar adequadamente e os procedimentos organizados forem seguidos de forma eficiente.

Nenhum modelo hidrológico, por mais sofisticado que seja, poderá fornecer previsões confiáveis se os dados observados forem de má qualidade. Os modelos sempre poderão ser aperfeiçoados, mas à luz de melhores informações que serão colhidas no futuro.

Esta é uma grande preocupação do SIMEPAR: fornecer dados hidrometeorológicos confiáveis em tempo-real, com intervalos de 10 minutos nas situações críticas.

A indicação das áreas e pontos críticos de inundação é de grande valia para aviso à população dos riscos de inundações e para acionamento do corpo de bombeiros, autoridades de trânsito e de segurança pública.

Referências Bibliográficas

- COLLIER, C. G. Flood forecasting using radar data. In _____, **Applications of weather radar systems**. New York: J. Willey, 1989. Cap. 7.
- BRAGA, B. P. F. et al. O sistema de alerta de inundações da cidade de São Paulo. In: PESSOA, Marcos de Lacerda et al. Telemetria e sensoriamento remoto: com aplicações em hidrologia e meteorologia. Curitiba, FINEP, 1992. Cap. 9.
- PESSOA, M. L. et al. **SIG aplicado à meteorologia: uma proposta inovadora no país**. Trabalho a ser publicado na revista Fator GIS s.l: s.n., 1993.