

CONCEPÇÃO DE UM MODELO DE PREVISÃO E ALERTA DE CHEIAS PARA A BACIA DO RIO BEBERIBE UTILIZANDO MODELAGEM ATMOSFÉRICA E HIDRODINÂMICA

Maria Crystianne Fonseca Rosal¹, Francinete Francis Lacerda² & Janduy G. Araújo³

RESUMO --- Este trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um sistema previsão, controle e alerta de cheias na Bacia do Rio Beberibe, através de uma rede integrada para monitoramento das precipitações e vazões na bacia. Utilizando, também, as técnicas de modelagem atmosférica, modelagem hidrodinâmica e o geoprocessamento. A modelagem atmosférica foi feita através do modelo ETA, na modelagem hidrodinâmica utilizou-se o modelo DHI MIKE11 HD, a resposta obtida por esta última modelagem é inserida no DHI MIKE11 GIS, onde se processa a planície de inundação da possível área a ser alagada. Neste trabalho são mostrados todos os elementos necessários para funcionamento de um sistema de previsão e alerta, deste a coleta dos dados até o seu refinamento para formação da planície de inundação. O estudo considerou dois dias consecutivos: 01 e 02 de maio de 2007, onde foi observada uma chuva causada por um Vórtice Ciclônico em Ar Superior, em conseqüências desse evento a bacia sofreu uma precipitação média de 73mm e teve grande parte de sua área alagada.

ABSTRACT --- This work has as objective to present development of a system forecast, control and alert of floods in the Basin of Beberibe River, through a net integrated for monitoring of precipitations and outflows in the basin. Using, too, the techniques of atmospheric modeling, hydrodynamic modeling and geoprocessing. The atmospheric modeling is made through model ETA, in the hydrodynamic modeling uses model DHI MIKE 11 HD, and the reply gotten for this last modeling is inserted in DHI MIKE11 GIS, where it processes the plain of flooding of possible to be flooded. In this work are shown all the necessary elements for operation of a system of forecast and alert, of this the collection of the data until his refinement for formation of the plain of flood. The study considered two consecutive days: 01 and 02 of May of 2007, where was observed a rain caused by Vortex Cyclonic in Upper Air, as consequences of that event the basin suffered a medium precipitation of 73mm and had a big part of its surface flooded.

Palavras-chave: Modelagem Atmosférica, Modelagem Hidrodinâmica, Geoprocessamento.

¹ Mestre em Recursos Hídricos, Engenheira Hidróloga, do Laboratório de Meteorologia de Pernambuco/ Associação Instituto Tecnológico de Pernambuco, LAMEPE /ITEP, Recife – PE, Fone: (0 xx 81) 32724366. E-mail: mariacrystianne@yahoo.com.br

² Doutoranda em Recursos Hídricos, Meteorologista, Laboratório de Meteorologia de Pernambuco/ Associação Instituto Tecnológico de Pernambuco, LAMEPE /ITEP. E-mail: francis@itep.br

³ Meteorologista do Laboratório de Meteorologia de Pernambuco/ Associação Instituto Tecnológico de Pernambuco, LAMEPE /ITEP. E-mail: janduy@itep.br

1 - INTRODUÇÃO

Todo rio tem sua área natural de inundação, e as enchentes são fenômenos naturais que ocorrem nos regimes dos rios. As inundações passam a ser um problema para o homem quando este deixa de respeitar essa área. Isso ocorre, na maioria das vezes, pelas ações do homem, que alteram o escoamento natural das águas. As enchentes podem ser lentas ou rápidas, dependendo da intensidade de precipitação e das condições topográficas da bacia. Quando são repentinas, geram elevados prejuízos materiais e podem provocar mortes.

A previsão e o controle de cheias são imprescindíveis em regiões urbanas, devido à quantidade de vidas envolvidas no processo, edificações, bens materiais e infra-estrutura. Essa questão vem ganhando destaque progressivo em várias partes do mundo. Os pesquisadores da área vêm trabalhando de forma a alcançar resultados mais precisos nos processos de planejamento e previsão.

O Nordeste do Brasil (NEB) tem características climáticas marcantes, secas periódicas, bem como, alta variabilidade espacial e temporal dos índices pluviométricos, por outro lado, a sua porção semi-árida, possui alta previsibilidade climática. Esta previsibilidade foi examinada em vários estudos, tanto teóricos quanto observacional, e em modelos numéricos globais. Um grande número de estudos, utilizando dados de Temperatura de Superfície de Mar observada (TSM) simula, com precisão, a variabilidade de interanual da precipitação pluviométrica sobre o NEB.

No início dos anos noventa, o modelo de Circulação Geral da Atmosfera (MCG) era integrado com uma resolução espacial de centenas de quilômetros, gerando totais pluviométricos sazonais para todo o NEB. Porém, com o desenvolvimento da modelagem atmosférica e oceânica e a expansão das redes observacional sobre os oceanos, como também, o aumento na capacidade de processamento computacional, em vários centros climáticos do mundo, inclusive no Brasil, foi possível melhorar a resolução espacial do MCG. Atualmente, há previsões geradas por modelos atmosféricos regionais com resolução espacial de dezenas de quilômetros, esse avanço tem gerado uma melhora nas previsões sazonais hidrológicas. Entretanto, a aplicabilidade dessas previsões sazonais, na hidrologia, está amarrada a resolução espaço/temporal do MCGs. Uma possível maneira para lidar com esta limitação é a adoção de uma aproximação utilizando técnicas de downscaling dinâmico. Essas técnicas podem ser enquadradas em duas abordagens distintas conceitualmente: (a) os modelos dinâmicos regionais, que são modelos numéricos semelhantes aos MCGs, mas com resolução mais fina, usando como dados iniciais e condições de contorno o resultado da simulação do MCG e; (b) métodos empíricos, a maior parte das vezes utilizam-se funções de transferência estatísticas entre os dados dos campos de larga escala e a variável de interesse na superfície.

Os métodos dinâmicos, apesar de tenderem a se estabelecer no futuro, ainda sofrem por inexatidão e pelo custo computacional, o que tem impedido sua utilização mais ampla. Recentemente, redes neurais artificiais (RNAs) também têm sido empregadas, como um instrumento de redução de escala. O processo de redução de escala envolve: 1) a identificação das variáveis do MCG que podem ser relacionadas à variável de interesse na superfície, podendo incluir a própria variável de interesse, se adequadamente simulada no modelo; 2) a construção de um método que as relacione; 3) a estimativa dos parâmetros deste método, utilizando séries históricas das variáveis nas duas escalas; e 4) a validação do método, utilizando dados não empregados na sua construção. A variabilidade espacial do regime climático intra-regional, normalmente determinada por acidentes topográficos ou proximidade do mar, deve balizar todo o processo de desenvolvimento do modelo de redução de escala.

A Região Metropolitana do Recife (RMR), em Pernambuco, situa-se em uma planície baixa e sujeita à influência da maré (Goés *et. al*, 2006), além disso há uma ocupação desordenada nas áreas ribeirinhas que produz graves problemas relacionados à drenagem urbana. A Bacia do Beberibe possui uma área de drenagem de 83 km² e está totalmente inserida na RMR, sendo uma bacia tipicamente urbana, e pertencendo a quatro municípios: Recife (55,4 km²), Olinda (17,3 km²), Paulista (9,4 km²) e São Lourenço da Mata (0,9 km²). Ela possui um tempo de concentração muito pequeno, em torno de 3 horas, e agregado aos fatores de origem urbana esta bacia sofre constantemente com inundações e é causa de grande preocupação.

O processo de formação e propagação de cheias em bacias com baixo tempo de concentração exige especial controle, dada à dificuldade de monitoramento, previsão e medidas de prevenção em tempo real. Nessas circunstâncias, técnicas rápidas e eficientes de simulação associadas a sistemas de telemetria podem ser de grande valia para a tomada de decisões visando a minimização do efeito de inundações e a proteção das comunidades, por Alcoforado *et. al* (1997).

Devido a esses fatores foi montado um sistema de alerta e previsão de cheias para a Bacia do Beberibe. Esse sistema está inserido, principalmente, no município de Olinda, região mais afetada pelas constantes cheias do Rio Beberibe. O sistema é composto pela integração dos conhecimentos da Meteorologia e da Hidrologia, e possui seis principais elementos: Estações Telemétricas, Régua limnimétrica, Modelagem atmosférica, Modelagem hidrológica e hidrodinâmica, Sistema de previsão de áreas passíveis a inundação, e transmissão em tempo real aos órgãos de Defesa Civil.

Este trabalho mostra a montagem desse sistema de aquisição automática de dados e simulação hidrometeorológica integrada para previsão e acompanhamento de cheias na bacia do Rio Beberibe, no Estado de Pernambuco.

2 - MATERIAS E MÉTODOS

2.1 – Área de Estudo

O rio Beberibe nasce em um lugar chamado Cabeça de Cavalo, no córrego denominado das Pacas, entre os municípios de São Lourenço da Mata e Olinda, mais precisamente nas matas dos Engenhos Timbó e Massiape, seguindo em curso muito tortuoso até se encontrar com o rio Capibaribe e desaguar no oceano.

O rio Beberibe é um dos rios componentes da bacia hidrográfica GL-1, grupo de rios litorâneos, totalmente pertencente ao Estado de Pernambuco, sendo a menor das 15 bacias que compõem a RMR. Apresenta cinco afluentes principais (Figura 1): pela margem direita, o Riacho das Pacas, Rio Morno, Canal Vasco da Gama – Arruda; pela margem esquerda: Riacho Lava Tripa e Canal da Malária.

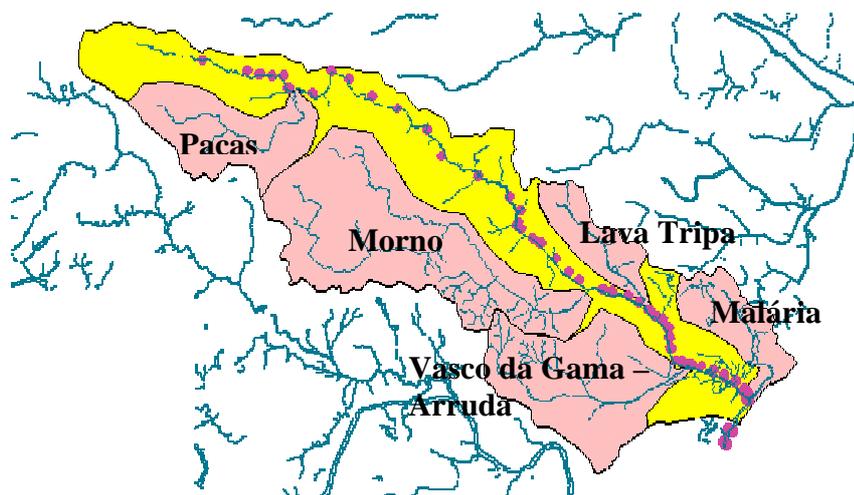


Figura 1 – Bacia do Beberibe.

Fonte: Alcoforado (2006)

O sistema hidrográfico do setor oeste é formado pelas partes superiores dos rios Beberibe e Morno, além do rio Macacos, principal afluente do Morno. O setor leste, que conta com uma ocupação acentuada, possui um sistema hidrográfico constituído pelas partes média e inferior dos rios Beberibe e Morno, pelos canais Vasco da Gama e da Malária e pelos córregos do Euclides e do Abacaxi.

2.2 – Sistema de Previsão e Controle de Cheias

A construção de um Sistema de Alerta é uma medida não-estrutural que tem como função prevenir a população com antecedência de curto prazo, a fim de evitar o pânico e diminuir os

prejuízos causados pelas inundações. Para previsão, acompanhamento e tomada de decisões está sendo montado um sistema de acompanhamento em tempo real dos processos hidrometeorológicos na bacia.

Esse sistema é composto por seis elementos essenciais:

- Estações Telemétricas;
- Réguas limnimétricas;
- Modelagem atmosférica;
- Modelagem hidrológica e hidrodinâmica;
- Sistema de previsão de áreas passíveis a inundação;
- Transmissão em tempo real aos órgãos de Defesa Civil.

Cada um desses elementos interage com o outro de modo a formar uma rede. A alimentação do modelo hidrológico/hidrodinâmico para simulação dos dados observados depende da transmissão destes em tempo real. Além disso, a modelagem atmosférica nos dará a chuva estimada por satélite, esta também servirá como dado de entrada para modelo hidrológico/hidrodinâmico, podendo-se assim prever as vazões. Uma vez previstas essas vazões pode-se simular as planícies de inundação da região em estudo.

2.2.1 - Estações Telemétricas

Para possibilitar o acompanhamento em tempo real dos dados pluviométricos e outros dados da bacia em estudo estão sendo instaladas Plataforma de Coleta de Dados (PCD), ao todo duas PCD's e uma estação meteorológica.

Cada PCD é composta por um sensor de chuva para registrar a precipitação ocorrida, um sensor de nível para acompanhar a elevação das águas no rio, um “datalogger” para armazenar automaticamente os dados registrados pelos sensores e um sistema de transmissão dos dados para as centrais de informação. Essa transmissão deverá ocorrer por meio de rádio, em tempo real. Fora do período de chuvas intensas os dados serão descarregados do “datalogger” por operador em campo, com periodicidade máxima de um mês.

A PCD operará automaticamente e será programada para que, quando o nível do rio atingir uma determinada cota, definida como cota de alerta, seja emitido um sinal para as centrais de informação de modo que o engenheiro responsável comece a adotar as devidas providências.

As PCD's estão em fase de instalação, e estão localizadas em pontos estratégicos da bacia para que proporcione melhor cobertura dos dados. As figuras abaixo mostram fotos do local onde serão instaladas as PCD's.



Figura 2 – Localização da PCD's.

A primeira foto mostra a PCD que obterá dados do Canal da Malária, já a segunda foto mostra a PCD que obterá dados do Rio Beberibe.

Além dessas PCD's, já existe em operação, desde janeiro de 2006, uma estação meteorológica localizada no Espaço Ciência, próximo à foz da bacia. A Figura abaixo mostra fotos dessa estação meteorológica.



Figura 3 – Estação Meteorológica do Espaço Ciência.

2.2.2 – Réguas Limnimétricas

A instalação das réguas limnimétricas ocorreu devido às diversas dificuldades para aquisição e instalação das PCD's, além disso, as réguas são equipamentos que envolvem menor custo. Então, implantou-se uma sucessão de réguas limnimétricas em seções dos canais, para estabelecer um monitoramento inicial e avaliar a possibilidade de suprir a baixa cobertura da rede de canais com estações remotas.

As réguas limnimétricas foram instaladas em oito locais distintos, englobando o Rio Beberibe e seus afluentes: duas seções no Rio Beberibe, uma seção no Riacho Lava Tripa, uma seção no Canal da Malária, uma seção no Rio Morno, duas seções no Canal Vasco da Gama-Arruda e uma seção no Canal da Bomba do Hemetério.

A instalação dessas réguas ocorreu em julho de 2005, passado estes dois anos algumas réguas tiveram que ser reinstaladas e outras foram realocadas. É importante salientar que o monitoramento e limpeza constante dessas réguas é fundamental para sua manutenção e leitura periódica, um outro fator é o envolvimento da comunidade na leitura das réguas.

2.2.3 – Modelagem Atmosférica

A modelagem atmosférica é realizada através do modelo ETA, este é um modelo de escala regional foi previamente analisado. Para avaliar a qualidade das previsões do modelo regional ETA, foram selecionados período onde houve a atuação de sistemas meteorológicos do tipo transientes que ocorrem no período de pré-estação chuvosa da bacia. Esses sistemas são de difícil previsibilidade e proporcionam chuvas de forte intensidade na área bacia de Rio Beberibe e em todo o estado. Ressalta-se, que a área bacia está contida na porção mais úmida do Estado de Pernambuco, ou seja, o Litoral e, em alguns anos, pode ultrapassar a casa dos 2000 mm. Sua estação chuvosa que inicia em abril prolonga-se até agosto, essa por sua vez, está sob influência das nuvens do tipo cúmulos rasas e, também, das ondas de leste, principalmente, nos meses de junho, julho e agosto, essas ondas são responsáveis por fortes aguaceiros no litoral leste da Região Nordeste do Brasil. O Rio Beberibe (83 km²) fica situado na parte oriental da região, perto da costa Atlântica onde chuva anual é de aproximadamente 1800 mm e evaporação é de aproximadamente 1400 mm/ano.

O modelo Eta, em versão não-hidrostática, foi configurado com resolução de 5km e 38 níveis na vertical. Proveniente do National Centers for Environmental Prediction (NCEP) (Mesinger et al., 1988; Black, 1994), é um modelo em pontos de grade, sendo que as variáveis são distribuídas horizontalmente na grade E de Arakawa, e a coordenada vertical é a coordenada η (Mesinger, 1984), definida por:

$$\eta = \left[\frac{(p - p_t)}{(p_s - p_t)} \right] * \left[\frac{(p_{ref}(Z_s) - p_t)}{(p_{ref}(0) - p_t)} \right] \quad (1)$$

Onde p é a pressão atmosférica. Os índices s e t se referem à superfície e ao topo da atmosfera, respectivamente. O índice ref se refere ao valor da pressão de uma atmosfera de referência; z_s é a altitude da superfície. A topografia é resolvida na forma de degraus discretos. A coordenada η se baseia em pressão, o que a torna aproximadamente horizontal. Esta característica reduz consideravelmente os problemas nos cálculos das derivadas horizontais próxima de região de montanha, e conseqüentemente, reduz os problemas relacionados com a força do gradiente horizontal de pressão. O topo do modelo está em 25 hPa e a superfície em 1013,25hPa.

O modelo possui complexa representação dos processos físicos que são tratados através de esquemas de parametrizações. As trocas turbulentas na vertical são resolvidas pelo esquema de Mellor-Yamada (1982) no nível de fechamento 2.5, onde a energia cinética é prevista. As trocas de energia à superfície se baseiam na teoria de similaridade de Monin-Obukhov e utilizam as funções de estabilidade de Paulson. O tratamento dos fluxos radiativos na atmosfera foi desenvolvido pelo Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL), sendo que radiação de onda longa se baseia no esquema de Lacis e Hansen (1974) e a radiação de onda curta se baseia no esquema de Fels e Schwarzkopf (1975). As taxas de aquecimento ou resfriamento devido aos processos radiativos são calculadas a cada hora de integração. O modelo possui 4 camadas no solo e um mapa com 12 tipos de cobertura vegetal. A produção de chuva convectiva se baseia no esquema do tipo ajuste de Betts-Miller-Janjic (Janjic, 1994), neste esquema o perfil termodinamicamente instável é ajustado em direção a um perfil de referência. A chuva e as nuvens estratiformes do modelo são representadas pelo esquema de microfísica de nuvens que trata de diferentes tipos de hidrometeoros.

2.2.4 – Modelagem Hidrológica/Hidrodinâmica

O modelo hidrológico pode ser considerado como uma ferramenta desenvolvida para representar o comportamento da bacia hidrográfica, prever condições futuras e/ou simular situações hipotéticas no intuito de avaliar impactos e alterações, por Enomoto (2004).

A modelagem hidrológica e hidrodinâmica está sendo feita com o modelo DHI MIKE11 HD, um pacote integrante da plataforma **MIKE Zero 2002 Build no. 6-1005217**, desenvolvido pelo *Danish Hydraulic Institute (DHI) Water & Environment* (DHI, 2000). Esse modelo é não-linear, e a modelagem hidrodinâmica considera o escoamento das águas unidimensional, estando baseado nas equações completas de Saint-Venant, de Dantas (2005), por meio da superfície de fluxo variável em uma dimensão. Essas equações constituem a maneira mais apropriada para se obter a precisão adequada na simulação de vazões e níveis ao longo da extensão de um rio, já que possui uma forma extremamente alongada, justificando sua simulação como um rio com planície de inundação (Cirilo *et al.* 1993). Em pontos discretos alterados ao longo dos trechos, o MIKE informa valores como: profundidade ou cota da superfície no escoamento, vazão, velocidade.

As equações de Saint-Vent, equação 2 e 3, seguem a aplicação de duas leis básicas de conservação: Conservação da continuidade e conservação da quantidade de movimento (DHI, 2001; Dantas, 2005).

Equação da continuidade:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (2)$$

Equação da quantidade de movimento:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0 \quad (3)$$

Onde: **Q** indica a vazão; **A** representa a área de escoamento; **q** é a vazão suplementar lateral; **h** é a cota no nível d'água; **C** é o coeficiente de Chézy; **R** é o raio hidráulico; e **α** é o coeficiente de distribuição do momentum.

A modelagem hidrodinâmica geralmente considera os afluentes e o escoamento difuso como contribuição lateral, pois as equações de Saint-Venant não incorporam chuva à bacia, apenas o escoamento na calha fluvial. Assim sendo, para que seja possível utilizar a chuva no estudo da bacia faz-se necessário a utilização da modelagem hidrológica, para por meio da chuva e das características da bacia avaliar-se a vazão como contribuição lateral.

Para a modelagem hidrológica utiliza-se o MIKE URBAN A, pertencente ao DHI MIKE11 HD, por Alcoforado (2006). Esse modelo transforma o hietograma de uma chuva excedente em um hidrograma de escoamento superficial direto, para isso utilizamos os seguintes parâmetros: a área da bacia, a área de impermeabilização, o tempo de concentração, as perdas iniciais, e outros. O método que mais se aproxima MIKE Urban é o Método Regional.

2.2.5 – Sistema de previsão de áreas passíveis a inundação

O mapeamento das áreas de risco de inundação é uma ferramenta auxiliar muito poderosa no controle e prevenção de inundações. A geração dos mapas de inundações é construída com o auxílio de uma ferramenta de geoprocessamento.

Segundo Tucci (2003), existem dois tipos de mapas de inundação:

- Mapas de planejamento: define as áreas atingidas por cheias de tempo de retorno escolhido;
- Mapas de alerta: informa cada esquina ou ponto de controle e nível de réguas para o qual se inicia a inundação. Esse mapa permite o acompanhamento da enchente por parte dos moradores, com base nas observações das réguas.

Na Bacia do Beberibe, trabalha-se para que se consiga atingir os dois tipos de mapas citados por Tucci (2003). Um grande problema enfrentado é a pouca disponibilidade de dados na bacia para fazer os mapas de planejamento.

As simulações das áreas que poderão ser inundadas por uma determinada precipitação foram feitas com o MIKE 11 GIS, também desenvolvido pela DHI e integrante do mesmo pacote MIKE Zero 2002 Build no. 6-1005217. O MIKE 11 GIS é o módulo que integra as tecnologias para a

geração de mapas de inundação e está baseado na integração do modelo hidrodinâmico MIKE 11 HD e do ambiente ArcView GIS, da tecnologia GIS (do inglês “*Geographical Information System*”, ou seja, Sistema de Informação Geográfica).

Esse modelo é uma avançada ferramenta para apresentação espacial dos resultados obtidos pela modelagem hidrológica e hidrodinâmica, resultando em mapas que podem fazer parte do planejamento estratégico para gerenciamento de enchentes.

2.2.6 – Transmissão em tempo real aos órgãos de Defesa Civil

O Laboratório de Meteorologia de Pernambuco (LAMEPE), junto com a Secretaria de Recursos Hídricos (SRH) de Pernambuco e Prefeitura Municipal de Olinda são responsáveis pelo Sistema de Previsão e Alerta da Bacia do Beberibe, e cabe a eles avisarem em tempo real à Defesa Civil, no caso de verificação de uma possível enchente.

A Defesa Civil é responsável pelas ações de prevenção e mitigação dos efeitos das enchentes: alerta, retirada da população e outras ações no sentido de proteger os cidadãos. A ela caberá o aviso à população, as medidas preventivas e de socorro, conforme a contingência.

2.3 – Localização dos equipamentos na Bacia do Beberibe

Todos esses equipamentos citados no item anterior somados a outros já instalados e pertencentes à rede do LAMEPE, estão fazendo parte do Sistema de Previsão e Alerta da Bacia do Beberibe.

A Figura 4 mostra a disposição dos equipamentos na bacia.

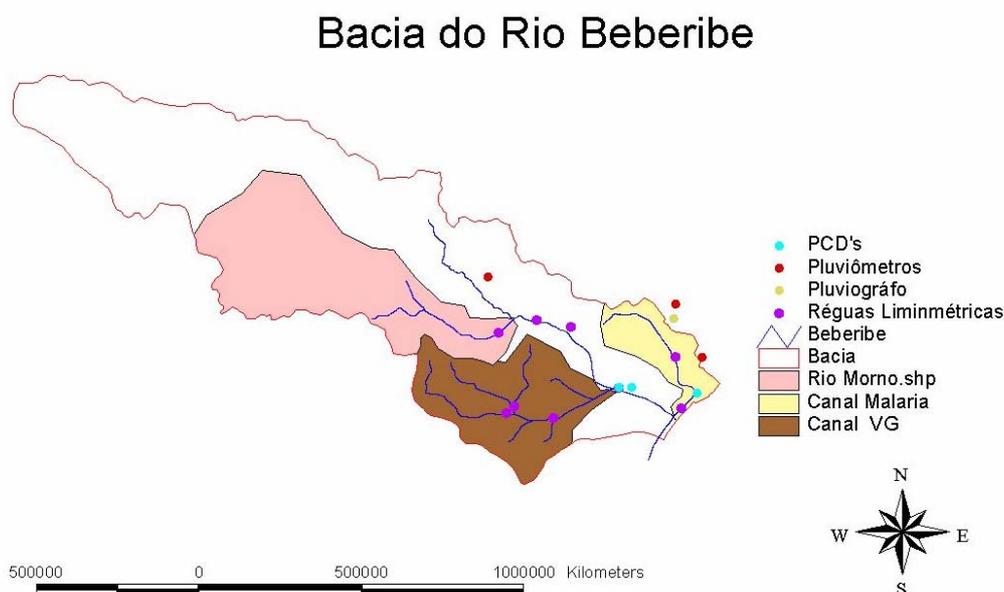


Figura 4 – Disposição dos equipamentos.

Pela Figura 4 pode-se perceber que todos os equipamentos estão concentrados mais a jusante da bacia, pois é nesta área que ocorre inundação, sendo a maioria dos equipamentos localizados no município de Olinda-PE. Além disso, a figura dá destaque às três principais sub-bacias que contribuem para as enchentes.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

A modelagem hidrodinâmica no DHI MIKE11 HD começa com a implementação dos seus dados de entrada, ou seja, a geração do arquivo de rede de canais, de seções transversais, de condições de contorno e dos parâmetros hidrodinâmicos a serem calibrados, Rosal *et al.* (2006).

Uma vez obtida e ajustada essa base de dados, a modelagem hidrodinâmica pode ser feita para qualquer evento chuvoso através da implementação da precipitação ocorrida e da maré observada para o dia em estudo.

Como resultado para este trabalho, modelou-se os dias 01 e 02 de maio de 2007, na manhã do dia 01 foi observada uma precipitação média na bacia do Rio Beberibe de 73mm, causando alagamento em grande parte da área destacada na Figura 4. Os hidrogramas apresentados abaixo evidencia a evolução da cheia ao longo do Rio Beberibe, mostrando que o pico de vazão ficou acima de 75m³/s quando toda a bacia já estava contribuindo.

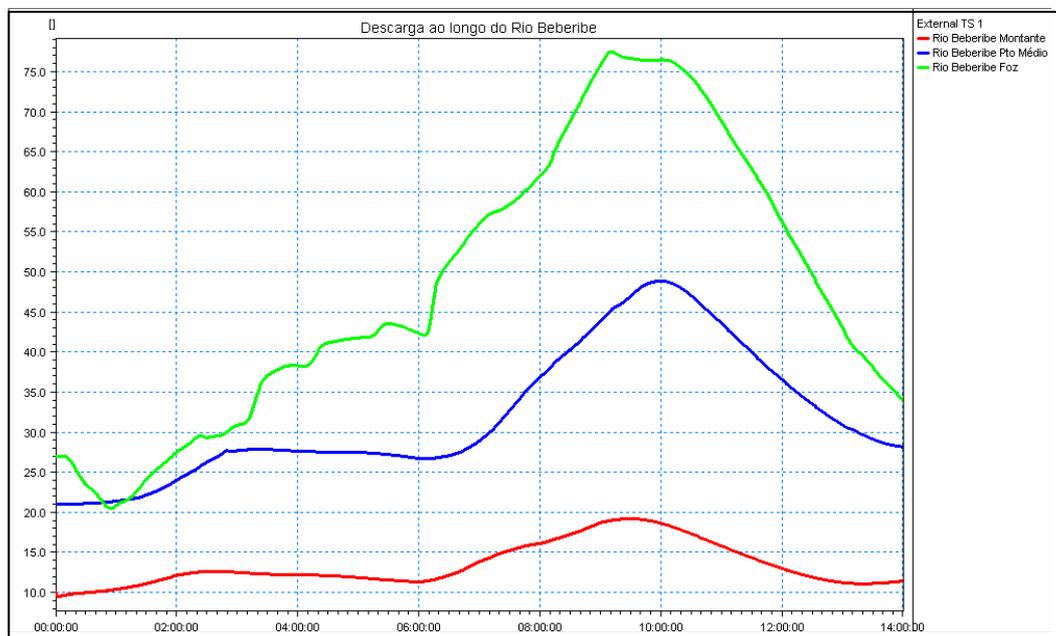


Figura 5 – Evolução do hidrograma de cheia do Rio Beberibe.

Um outro resultado da modelagem no DHI MIKE11 HD é o perfil longitudinal de qualquer rio ou canal estudado, ele mostra a variação das cotas em todos os rios da bacia, por meio da simulação da variação de nível. Com esses dados pode-se acompanhar em tempo real o quanto à modelagem está acertando, pois as leituras das régua limnimétricas são feitas a cada duas horas, sendo iniciada

às 7:00h e finalizada às 17:00h em todos os dias do período chuvoso de Pernambuco. A Figura 6 mostra o perfil longitudinal do Rio Beberibe, onde se observa que a linha vermelha é a máxima cota atingida no rio por este evento e os números que acompanham o perfil são o comprimento do rio em metros.

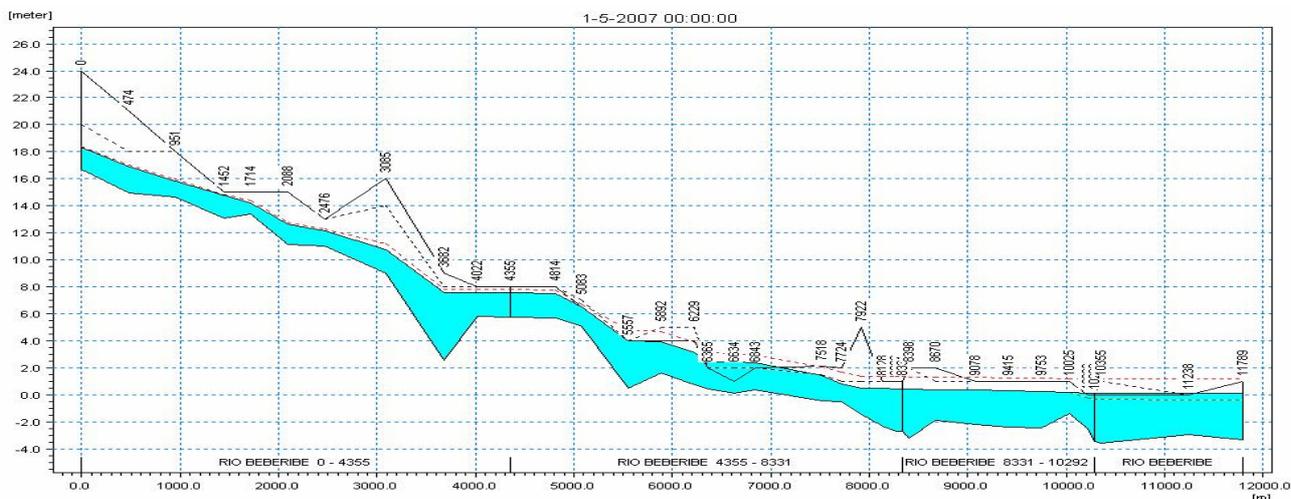


Figura 6 – Perfil longitudinal do Rio Beberibe

Na modelagem atmosférica foram executadas as simulações e análise para o período de estudo na referida bacia. Embora as sucessões temporais de eventos de precipitação diária, sobre a bacia, não serem reproduzidas pelo modelo atmosférico, nas análises dos campos meteorológicos, gerada pelo modelo ETA, foi constatada a configuração de um Vórtice Ciclônico em Ar Superior (VCAS), fenômeno este causador das precipitações pluviométricas ocorrida no período em questão (Figura 7).

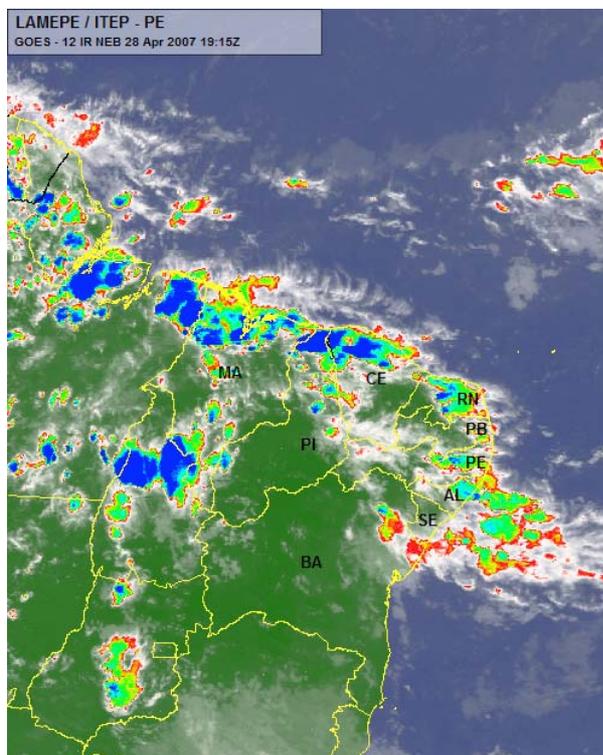


Figura 7 – Vórtice Ciclônico em Ar Superior

Os VCAS, também conhecidos como baixas frias, atuam sobre a Região Nordeste e outras regiões do Brasil, preferencialmente, nos meses de novembro a fevereiro. A sua atuação ocorre de forma irregular, na dependência do seu posicionamento, podem produzir tanto chuvas intensas como estiagens. As chuvas, associadas a esse fenômeno, ocorrem nas bandas de nebulosidade que circundam seu centro (Figura 8).

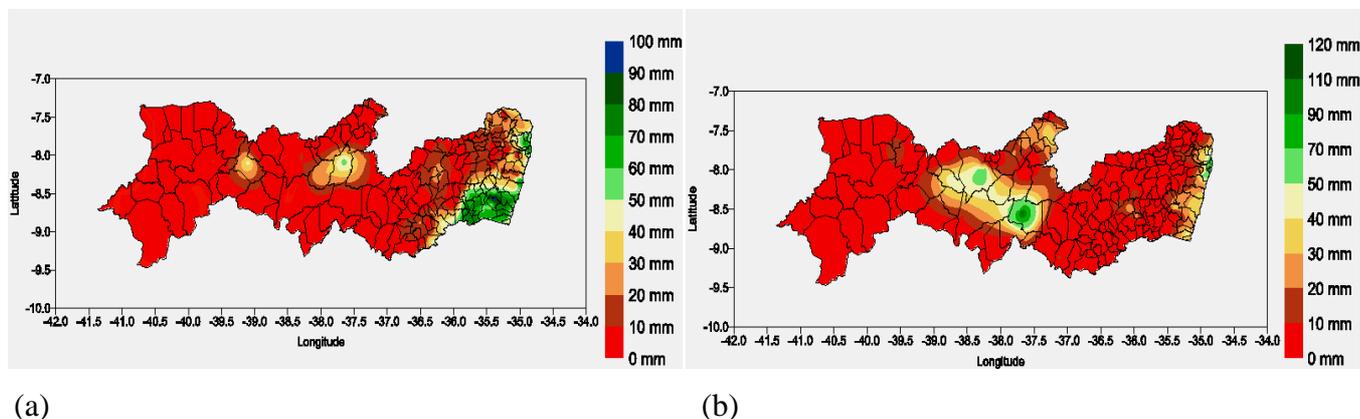


Figura 8 – Distribuição espacial de Precipitação Pluviométrica (mm) observada no dia 30/04/07 (a) e no dia 01/05/07 (b) no estado de PE.

Os resultados oriundos do monitoramento, na área da bacia, refletiram a característica do fenômeno, ou seja, alta variabilidade na distribuição dos índices pluviométricos na área da bacia e regiões circunvizinhas. Os maiores valores ocorreram na Região Metropolitana e Mata Pernambucana, esses índices oscilaram entre 20 a 60mm no dia 30/04, e 20 a 100mm no dia 01/05.

4 – CONCLUSÕES

Apesar do modelo climático não ter previsto a chuva ocorrida, o fenômeno foi identificado. Nesse contexto, este trabalho propôs inovação juntando, em uma mesma base de informações, um modelo regional de previsão numérica do tempo, aninhado a um modelo de circulação geral atmosférico, com o modelo hidrológico. Essas experiências provêm evidências que tal estratégia de junção fornece uma aproximação de downscaling efetiva que pode prover informação útil para avaliar os impactos da variabilidade na distribuição dos índices pluviométricos na hidrologia dos centros urbanos. Um dos resultados de particular relevância é a junção do modelo atmosférico e o modelo hidrológico. Um esforço adicional está sendo feito no LAMEPE para melhorar a qualidade das previsões de tempo e clima simuladas pelos modelos regionais.

AGRADECIMENTOS

Ao Ministério brasileiro de Ciência e Tecnologia (MCT/FINEP/CT-HIDRO) pelo apoio ao projeto cujo título é: Monitoramento, Modelagem e Previsão Hidrometeorológica em Pernambuco.

À Secretaria de Recursos Hídricos (SRH) de Pernambuco, ao Centro Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE) e ao Laboratório de Meteorologia o Pernambuco (LAMEPE/ITEP), que lida com a integração de modelos meteorológicos e hidrológicos na aplicação da gestão dos recursos de hídricos.

BIBLIOGRAFIA

ALCOFORADO, R. G. (2006). *Simulação Hidráulico-Hidrológica do Escoamento em Redes Complexas de Rios Urbanos: Suporte de Informações Espaciais de Alta Resolução*. Tese de Doutorado apresentada à Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil na área de concentração em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Recife, Pernambuco, 2006.

ALCOFORADO, R. G.; CUNHA, F. A. G.; ARAÚJO FILHO, P. F.; RODRIGUES, R. S.; CIRILO, J. A. (2005). “*Sistema de Previsão e Controle de Cheias na Bacia do Rio Capibaribe*”, in Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Vitória – ES, Nov. 1997. Anais... CD-ROM.

BLACK, T. L. (1994). *The new NMC mesoscale Eta model: Description ad forecast examples*. Wea. Forecasting, 9, pp. 265-278.

CIRILO, J. A.; OLIVEIRA, S. C. de; SILVEIRA, A. B. (1993). “*Simulação hidrodinâmica do lago de Sobradinho: refinamento do modelo*”, in Anais do X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, e I Simpósio de Recursos Hídricos do Cone Sul, Gramado – RS, 1993. Anais... [S.l.: s.n.].

CHEN, F.; JANJIC, Z. I.; MITCHELL, K. (1975). “*Impact of atmospheric surface-layer parameterization in the new land-surface scheme of the NCEP mesoscale Eta model*”. Boundary Layer Meteorology, v. 85, 391-421.

DANTAS, C. E. de O (2005). *Análise dos efeitos dinâmicos em reservatórios de grande extensão: Estudo de caso: reservatório de Sobradinho*. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil na área de concentração em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Recife, Pernambuco, 2005.

DHI Water & Environment (2000). *MIKE 11: A Modelling System for Rivers and Channels: Short Introduction: Tutorial. Danish*.

ENOMOTO, C. F. (2004). *Métodos para elaboração de mapas de inundação: Estudo de Caso na Bacia do Rio Palmital, Paraná*. . Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal de

Pernambuco, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, setor Tecnologia. Curitiba, Paraná, 2004.

FELS, S. B.; SCHWARZKOPF, M. D (1975). “*The simplified exchange approximation. A new method for radiative transfer calculations*”. J. Atmos. Sci., 32, pp. 1475-1488.

DHI Water & Environment (2001). *MIKE 11 GIS: User & Reference Manual. Danish*.

FIDEM - Fundação de Desenvolvimento Municipal de Pernambuco (2001). *Análise da Capacidade de Escoamento do Rio Beberibe e Desenvolvimento de Sistema de Suporte à Decisão para Intervenções na Bacia: Relatório Técnico, Recife: [s.n.]*.

GÓES, V. C.; ALCOFORADO, R. G.; CIRILO, J. A.; ARAÚJO FILHO, P. F; TEIXEIRA, L. C. (2006). “*Geração de Bases de Dados Espaciais e Temporais para Estudo dos Conflitos de Uso do Solo na Região Metropolitana do Recife e o Impacto sobre a Drenagem Urbana*”, in Anais do VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Gravataá – PE, Out. 2006. Anais... CD-ROM.

JANJIC, Z. I. (1994). “*The step-mountain eta coordinate model: further developments of the convection, viscous sublayer and turbulence closure schemes*”. Monthly Weather Review, v. 122, pp. 927-945.

LACIS, A. A.; HANSEN, J. E. (1974). “*A parameterization of the absorption of solar radiation in earth’s atmosphere*”. J. Atmos. Sci., 31, pp. 118-133.

MENDES, C. A. B. e CIRILO, J.A., (2001). *Geoprocessamento em Recursos Hídricos - Princípios, Integração e Aplicação*. Editora ABRH, 533p.

MESINGER, F (1984). “*A blocking technique for representation of mountains in atmospheric models*”. Riv. Meteor. Aeronaut., 44, pp. 195-202.

MESINGER, F.; JANJIC, Z. I.; NICKOVIC, S.; GAVRILOV, D.; DEAVEN, D. G. (1988). “*The step-mountain coordinate: Model description description and performance for cases of Alpine lee cyclogenesis and for a case of Appalachian redevelopment*”. Mon. Wea. Rev., 116, pp. 1493-1518.

MELLOR, G. L.; YAMADA, T. (1974). “*A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layers*”. J. Atmos. Sci., 31, pp. 1791-1806.

MELLOR, G. L.; YAMADA, T. (1982) “*Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems*”. Rev. Geophys. Space Phys., 20, pp. 851-875.

SUDENE – Superintendência para o Desenvolvimento do Nordeste (1995) – *Programa Especial para Controle de Enchentes no Recife – Estado de Pernambuco*.

ROSAL, M. C. F.; DANTAS, C. E. O.; ARAÚJO, J. G; LACERDA, F. F. (2006). “*Desenvolvimento de um Sistema de Suporte à Decisão para a Bacia do Rio Beberibe através do uso de dados de precipitação do Modelo Brams aplicados ao Modelo Hidrodinâmico DHI MIKE 11 HD*”, in Anais do XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, Florianópolis – SC, Nov. 2006. Anais... CD-ROM.

TUCCI, C. E. M. (1998). *Modelos Hidrológicos*. UFRGS/ABRH, Porto Alegre – RS, 669 p.

TUCCI, C. E. M. (2003). *Inundações urbanas na América do Sul*. UFRGS/ABRH, Porto Alegre – RS, 156 p.

VIEIRA, M.; CABRAL, J.; CIRILO, J. A.; MONTENEGRO, S. (2006). “*Considerações sobre precipitações pluviométricas na Bacia do Rio Fragoso*”, in Anais do VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Gravatá – PE, Out. 2006. Anais... CD-ROM.