

# CONTROLE E PREVISÃO DE CHEIAS NO ESTADO DE PERNAMBUCO, BRASIL: ASPECTOS HIDROLÓGICOS E AÇÕES DE RECONSTRUÇÃO

## CONTROL AND FLOOD FORECASTING IN THE STATE OF PERNAMBUCO, BRAZIL: HYDROLOGICAL ASPECTS AND ACTIONS FOR RECONSTRUCTION

José Almir Cirilo<sup>1</sup>, Suzana Maria Gico Lima Montenegro<sup>2</sup> Marcelo Cauás Asfora<sup>2</sup> and Clênio de Oliveira Torres Filho<sup>2</sup>  
almir.cirilo@gmail.com, suzana.montenegro@apac.pe.gov.br, mcasfora@apac.pe.gov.br, cleniotorresfilho@yahoo.com.br

<sup>1</sup>Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos de Pernambuco <sup>2</sup>Agência Pernambucana de Águas e Clima

### Abstract

The occurrence of major floods in cities in Brazil has generated serious problems for the population, both in metropolitan regions and in smaller towns drained by rivers flowing through wide areas. The floods in the states of Pernambuco and Alagoas, northeastern Brazil, are included in this second case, especially those occurred in the rivers Una, Mundaú and its tributaries, which have their headwaters in the central region of Pernambuco state, resulting in catastrophic inundation in dozens of cities in both states. This paper deals with aspects of flood hydrology, causes and effects of inundation occurred and the actions of reconstruction in progress.

Palavras-Chave: Desastres naturais, Controle de cheias, Defesa Civil

Key-words: Natural Disasters, Flood Control, Civil Defense

### 1. INTRODUÇÃO

No dia 17 de junho de 2010 o Estado de Pernambuco vivenciou um fenômeno climático chamado “Onda de Leste”, que foi intensificado pelo aquecimento da temperatura do Oceano Atlântico juntamente com a intensificação dos ventos alísios. Essa conjugação de eventos provocou, em curto espaço de tempo, uma grande quantidade de chuva concentrada nas proximidades das cabeceiras de vários rios, gerando ondas de cheia que atingiram diversas cidades ribeirinhas de Pernambuco e do estado vizinho de Alagoas. Ao contrário dos períodos invernosos típicos, quando o nível dos rios eleva-se em um ritmo relativamente lento, essas chuvas, pela sua magnitude e, no caso das bacias hidrográficas dos rios Mundaú e Una, pela acentuada declividade dos rios, deram origem a elevação muito rápida do nível da água e geração de ondas de grande velocidade. Somente em Pernambuco, na madrugada do dia 17 para o dia 18 de junho, choveu na região afetada o equivalente a 180 mm, o que representa aproximadamente 70% do esperado para os 30 dias do mês de junho.

Às 16:00h do dia 17 de junho de 2010, o Laboratório de Meteorologia de Pernambuco – LAMEPE, percebendo a gravidade do fenômeno que se prenunciava, alertou o Gabinete do Governador. Às 18:00h foi realizada uma reunião emergencial com prefeitos da Região Metropolitana de Recife, capital do estado de Pernambuco e representantes de outros órgãos no Palácio do Governo, disparando-se um alerta urgente às defesas civis municipais, solicitando a desocupação imediata das áreas de risco. O alerta emitido pelo Governo do Estado salvou milhares de vidas. Na cidade de Barreiros, próxima à foz do rio Una no Oceano Atlântico, por exemplo, a população chegou a ser alertada até pelo toque do sino da igreja. As chuvas tiveram início em torno das 20:00h. Não fora o alerta urgente poderiam ter ocorrido centenas de mortes. Matéria veiculada em jornal local informa que no ano de 1969, na cidade de São José da Laje, estado de Alagoas, ocorreram quase 1.500 óbitos em fenômeno semelhante. Essa cidade está situada na bacia hidrográfica do rio Mundaú, a outra bacia onde a catástrofe foi igualmente violenta no ano de 2010. Além

disso, pouco mais de uma semana depois, na noite e madrugada dos dias 27 e 28 o fenômeno se repetiu, com menor intensidade porém alagando igualmente as cidades onde se iniciava o processo de recuperação. Ainda se promovia a retirada de detritos depositados pelas águas da primeira inundação, quando a segunda cheia ocorreu.

Entre os dias 3 e 5 de maio de 2011, pouco mais de dez meses passados, novo ciclo de cheias ocorreu nessas regiões do estado, de forma antecipada dado que a ocorrência de tais eventos nos rios das regiões agreste e mata de Pernambuco normalmente ocorrem em junho, julho e eventualmente agosto. Não houve formação de cheia nas partes altas das bacias dos rios Una e Mundaú, como em 2010, e assim as inundações não foram caracterizadas pelo poder de destruição verificado naquele ano. Por outro lado, na bacia do rio Capibaribe, região mais habitada do estado, o volume afluente às barragens foi cerca de três vezes superior. Isso requereu operação de abertura de comportas durante o evento, provocando inundações nas áreas ribeirinhas do rio e retomando o temor da população quanto à possibilidade de inundações catastróficas como as ocorridas entre os anos de 1966 e 1975.

O fenômeno deixou em Pernambuco um quadro de grande destruição: após o desastre, o Governo do Estado decretou situação de emergência em 27 municípios e estado de calamidade em outros 12. Nas localidades afetadas, contabilizou-se um saldo de 20 óbitos, 26.966 desabrigados, 56.643 desalojados, 14.136 habitações destruídas ou danificadas, 27 escolas destruídas e outras 376 danificadas, 09 municípios isolados (sem acesso viário), 4.478 km de estradas comprometidas, 142 pontes danificadas, 02 hospitais estaduais completamente destruídos, 85 postos de saúde e 04 hospitais municipais danificados.

No Estado de Alagoas, segundo dados da sua Coordenadoria Estadual da Defesa Civil, 58.145 pessoas foram afetadas pelas enchentes em 2010. Foram desabrigadas 36.953 pessoas e outras 15.540 desalojadas. A situação mais crítica teria sido registrada na cidade de União dos Palmares, onde foram registradas seis mortes, 9 mil desabrigados e mais 2 mil desalojados.

## **2. METODOLOGIA**

O enfrentamento da crise gerada pelas cheias pode ser compreendido a partir de quatro tipos de ações:

- a) manutenção de estado permanente de acompanhamento do processo e medidas de salvamento e proteção da população;
- b) ações de limpeza e reconstrução das estruturas públicas e habitações para a retomada do funcionamento das cidades;
- c) ações de planejamento para controle de cheias e para readequação do espaço urbano ao longo das calhas fluviais;
- d) implantação da infraestrutura necessária para redução ao máximo das inundações nos perímetros urbanos.

### **2.1 Manutenção de estado permanente de acompanhamento e ações de salvamento**

#### **Assistência Emergencial**

Durante a cheia de 2010, para atendimento emergencial foi mobilizada pelo Governo do Estado uma força-tarefa composta por 19 embarcações, 09 helicópteros, 39 carros de resgate, 15 equipes do Serviço de Atendimento Móvel de Urgência - SAMU, 51 carros-pipa para fornecimento de água, 11 ambulâncias, 15 retroescavadeiras, inúmeros tratores e outras máquinas pesadas, além do reforço das equipes do Corpo de Bombeiros, Polícia Militar e Defesa Civil Estadual. Foram resgatadas milhares de pessoas na maior movimentação de salvamento já registrada no país. Além disto, a CODECIPE enviou equipes especializadas e mantimentos, tais como: colchões, cestas básicas, água potável, agasalhos e cobertores.

Foram realizadas 1.230 ações de resgate aéreo e 980 ações de resgate marítimo à população.

A Figura 1 mostra situação de áreas alagadas em 2010.



Figura 1 – Cidades alagadas e destroços após a enchente de 2010 (fonte: PERNAMBUCO, 2010)

### **Instalação do Gabinete de Crise**

Imediatamente após o alerta e a mobilização da Defesa Civil, no dia 21/06/2010, foi instalado na sede do governo estadual um Gabinete de Crise, com equipes de todas as secretarias do governo que pudessem apoiar de alguma forma as ações emergenciais, além de representações das forças armadas. As demandas vindas das localidades atingidas chegavam ao Gabinete de Crise, onde eram decididas as medidas a serem adotadas. O Gabinete coordenou as ações de 1.512 pessoas enviadas para atuar diretamente nos municípios atingidos e foi responsável pela consolidação de todas as informações da Operação Reconstrução, emitindo relatórios gerenciais diários que permitiram um controle da situação e auxiliaram na tomada de decisão. A mobilização desse gabinete se estendeu até o final do inverno de 2010.

### **Monitoramento e controle**

Foram instaladas réguas de medição de nível nos rios que cortam as cidades de Água Preta, Altinho, Belém de Maria, Catende, Cupira, Jaqueira, São Benedito do Sul e Palmares, complementando as informações da rede de monitoramento. Os dados informados remotamente ou por equipes de campo, sobre elevação do volume de água em rios e reservatórios e intensificação das precipitações possibilitavam a emissão de boletins, inclusive o alerta no 2º. evento de cheia, na noite do domingo, dia 27 de junho.

Diferente das bacias do Una e Mundaú, a bacia do rio Capibaribe, em cuja foz se situa a cidade de Recife, capital do estado, dispõe de quatro barragens de uso múltiplo da água, principalmente abastecimento e controle de cheias. As características desses reservatórios são mostradas na tabela a seguir e a posição das barragens na bacia é representada na Figura 2. A partir do monitoramento dos reservatórios e de estratégias de operação definidas pela Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos - SRHE, juntamente com a Agência Pernambucana de Águas e Clima- APAC e Companhia Pernambucana de Saneamento- COMPESA, promove-se regularmente manutenção e testes dos sistemas de controle das barragens. No evento de 2010 as barragens retiveram o volume d'água escoado sem necessidade imediata ou prévia de abertura de comportas. A principal barragem do sistema de controle de cheias, Carpina, chegou a acumular

180 milhões de m<sup>3</sup>, 2/3 de sua capacidade. Seus dispositivos de descarga foram abertos após a redução do volume de água na calha do rio, praticamente sem problemas para a população. Já no evento de 2011, após uma primeira noite onde as chuvas provocaram elevação do volume acumulado para 170 milhões de m<sup>3</sup>, de forma similar à ocorrida em 2010, a meteorologia alertou quanto à ocorrência na noite seguinte de um evento chuvoso de magnitude ainda maior, o que requeria medidas urgentes de operação de barragens e alerta à população. A Defesa Civil do estado e dos municípios foi de imediato alertada, entrando em ação para retirada da população ribeirinha das áreas mais afetadas pela imediata abertura de comportas que se fez necessária para dar à barragem de Carpina capacidade de retenção do volume de água previsto. Essa operação passou a liberar na calha do rio Capibaribe cerca de 350m<sup>3</sup>/s que, acrescida da contribuição das demais barragens, todas com vertimento, e dos tributários e escoamento difuso, elevou a vazão do rio no perímetro urbano da Região Metropolitana de Recife a cerca de 700m<sup>3</sup>/s, no limite atual da calha em quase todo o seu curso, com alagamentos nas áreas ribeirinhas mais baixas. Ao longo dessa operação, que durou em torno de dez dias até o restabelecimento do nível de segurança, o rio foi monitorado por telemetria a cada 15 minutos.

A avaliação da operação mostrou que, sem a abertura prévia das comportas, o vertimento inevitável da barragem de Carpina elevaria o pico de vazão a valores além de 1000m<sup>3</sup>/s, o que provocaria inundações similares às ocorridas na década de 1970.

Para as bacias dos rios Una e Mundaú não existem ainda reservatórios com função de controle de cheia. As ações para implantação do sistema de controle de cheias na bacia do rio Una são apresentadas adiante.

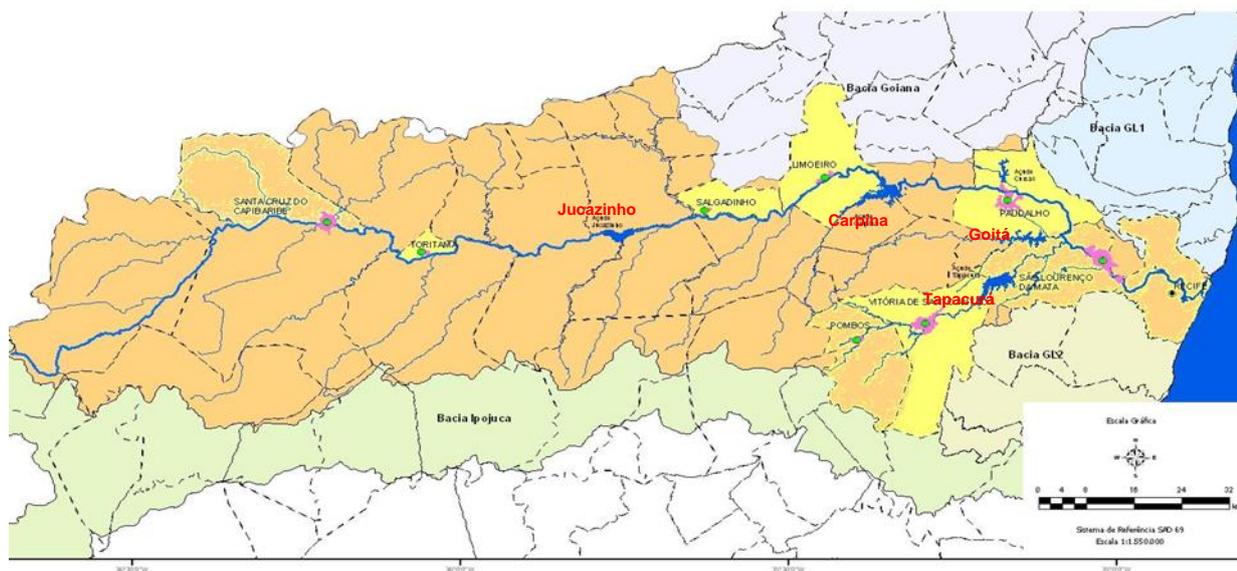


Figura 2 – Bacia do rio Capibaribe e localização dos reservatórios de controle de cheias

Tabela 1 – Capacidade dos reservatórios com função de controle de cheias na bacia do rio Capibaribe

Reservatório	Capacidade (milhões de m <sup>3</sup> )
Jucazinho	327,4
Carpina	270,0
Tapacurá	94,2
Goitá	52,6

## 2.2 Ações de limpeza e reconstrução das estruturas públicas e habitações

### Limpeza das cidades

Tão logo o nível da água nas ruas baixou, o Governo do Estado empregou mais de 300 máquinas e 1.600 pessoas para realização de serviços de limpeza nos municípios. Foram retiradas milhares de toneladas de escombros, lama e lixo, com custo superior a R\$ 20 milhões nesta ação, absolutamente necessária, pelo estado em que se apresentaram as cidades (Figura 3).



Figura 3 – Execução de serviços de limpeza em cidade atingida pelas inundações em 2010 (fonte: PERNAMBUCO, 2010)

### Reconstrução

Em 04 de Agosto de 2010, 28 empresas de engenharia e construção foram contratadas para recuperação de ruas, estradas, barragens, sistemas de abastecimento de água e diversos equipamentos públicos afetados, excetuando-se hospitais e escolas. Foram iniciadas, em 06/08/10, as obras de reconstrução do Hospital Regional de Palmares Sílvio Magalhães, destruído pelas chuvas. Foi escolhido um terreno sem risco de inundação. Em 25/02/2011 foi inaugurada a 1ª parte do Hospital, apresentado na Figura 4 a seguir.



Figura 4 – Imagem do novo Hospital de Palmares

Neste mês de junho de 2011 encontram-se concluídas ações de reforma e reconstrução de mais de 300 escolas atingidas.

Uma ação desafiadora é a remoção de habitações destruídas e construção de novas casas para a população atingida. Os desafios compreendem a preparação de locais adequados, livres das inundações, situação agravada pelo relevo acidentado da região que requer trabalho dispendioso de corte e terraplenagem. Atualmente mais de dez mil casas estão com as obras em andamento, as primeiras delas sendo entregues em junho de 2011 (Figura 5). Até o final de 2011 deverão ser entregues cerca de 3000 dessas casas à população.



Figura 5 – Casas entregues à população

### 2.3 Ações de planejamento para controle de cheias e para readequação do espaço urbano

Logo após a ocorrência das inundações de 2010 foi contratado serviço de levantamento topográfico das cidades atingidas e do estirão dos rios responsáveis pelos maiores danos. A tecnologia utilizada para o levantamento planialtimétrico das áreas inundáveis foi a LIDAR - "Light Detection And Ranging". O princípio de funcionamento do sistema consiste na emissão do feixe laser em direção à superfície terrestre. Este feixe é refletido por obstáculos e captados pelo sensor, onde é registrado o tempo de percurso. Como a área de cobertura de cada feixe é variável de acordo com a altitude, é possível que uma porção do mesmo feixe laser encontre um ou mais objetos antes de atingir o solo. Os encontros geram retornos parciais, denominados de primeiro e último retorno. De posse destas informações, é possível gerar modelos digitais a partir de ambos os retornos, ou seja, Modelo Digital de Elevação (MDE) ou só do último retorno, Modelo Digital de Terreno (MDT). O desvio padrão do laser calculado pelo fabricante é de 50 cm na planimetria e 15 cm na altimetria, sendo esta precisão variável conforme o modelo e ano de fabricação. O sistema ALTM

2050, do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC), sediado no estado do Paraná, entidade responsável pelo levantamento aqui apresentado, apresentou, durante os testes de aceitação, um desvio padrão de 33 cm na planimetria e 10 cm na altimetria. O trabalho levantou: a) na escala 1:5.000 a extensão dos rios Mundaú, Paraíba, Canhoto, Una, Sirinhaém, Pannels e Pirangi, considerando uma faixa de 750m para cada lado do eixo do rio, nos limites compreendidos no estado de Pernambuco, totalizando cerca de 1.158 km<sup>2</sup>; b) na escala 1:2.000 para as áreas urbanas dos municípios mais atingidos pelas inundações (Barreiros, Água Preta, Maraial, Correntes, São Benedito do Sul, Barra de Guabiraba, Cortês, Jaqueira, Palmares e Catende), totalizando cerca de 77 km<sup>2</sup>.

A Figura 6 representa a área coberta no levantamento para as bacias dos rios Serinhaém (mais acima) e Una, com seus principais afluentes. A Figura 7 mostra detalhe de trecho de rio levantado (ortoimagem).

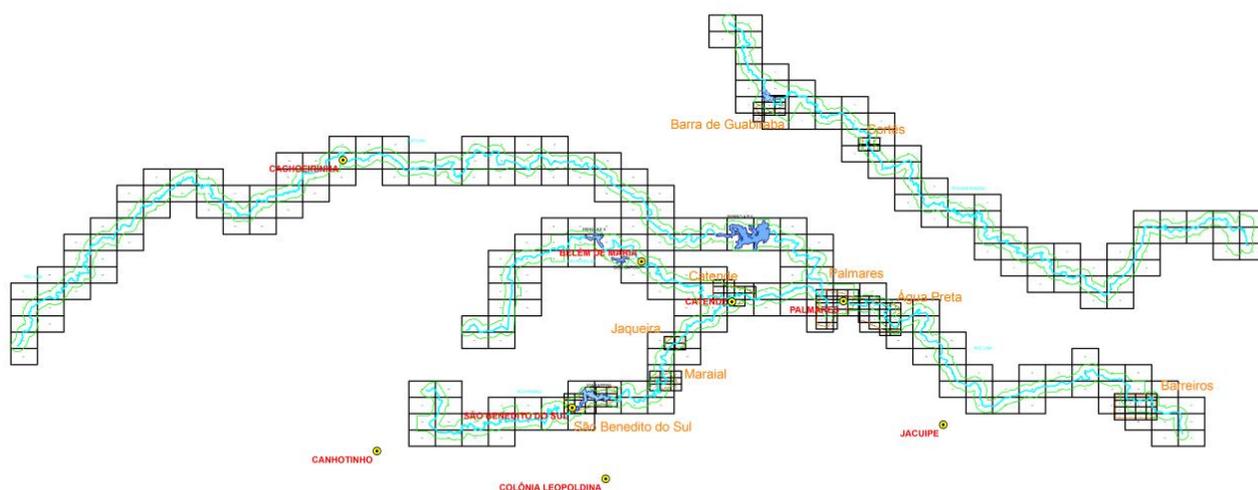


Figura 6 – Quadriculas representando a área objeto de levantamento planialtimétrico nos rios Serinhaém, Una, Pannels e Pirangi.

A tecnologia LIDAR tem sido utilizada como suporte para alimentar modelos de simulação hidrológicos e hidrodinâmicos, como mostra a literatura sobre o assunto (MARKS e BATES, 2000; HAILE e RIENTJES, 2005; GIBSON, NYGAARD e SCLAFANI, 2010).

A utilização dos resultados desse levantamento, concluído no final de abril de 2011, está sendo essencial para as seguintes ações:

- a) Revitalização das margens do rio no perímetro urbano e planejamento da realocação de imóveis retirados, como representado na Figura 8;
- b) Suporte à modelagem do escoamento na calha fluvial, conforme apresentado em outros trabalhos neste congresso ((RIBEIRO NETO, CIRILO E DANTAS, 2011; CIRILO, DANTAS, RIBEIRO NETO, SILVA e MONTENEGRO, 2011);
- c) Suporte aos estudos ambientais e aos projetos de engenharia das barragens de contenção de cheias a serem implantadas, como a de Serro Azul, no município de Palmares (Figura 9);
- d) Suporte as ações de intervenção na calha fluvial para aumentar a capacidade de escoamento.



Figura 7 – Imagem de trecho do rio Una (destacado em azul) e recorte lateral com cerca de 750m para cada margem.



Figura 8 – Imagem de trecho de rua comercial às margens do rio Una a ser relocado para outra área livre de inundações.

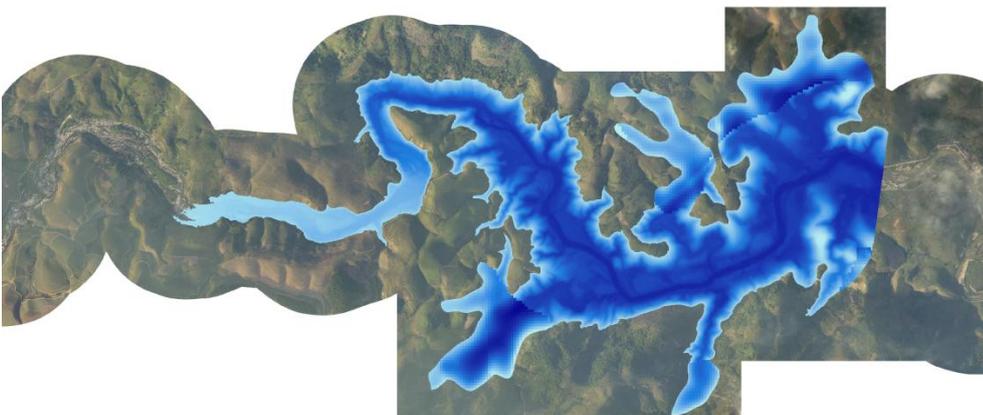


Figura 9 - Espelho d'água previsto da barragem de Serro Azul, a ser construída no rio Una, a montante das cidades de Palmares, Água Preta e Barreiros.

## 2.4 Implantação da infraestrutura necessária

Com a intenção de resolver definitivamente a questão das enchentes provocadas pelos rios da bacia do Una e a partir dos levantamentos e estudos realizados, serão construídas pela SRHE nesta bacia quatro barragens, indicadas na Figura 10.



Figura 10 – Localização das barragens de controle de cheia na bacia do rio Una (PERNAMBUCO, 2011).

**Barragem Pannels 2** – Com capacidade para acumular 17 milhões de m<sup>3</sup>, será construída no rio Pannels, afluente do Una, no trecho que corta o município de Cupira;

**Barragem Gatos** – No município de Lagoa dos Gatos, será construída no riacho dos Gatos, um afluente do rio Pannels, que deságua no Pirangi, tributário do Una. A capacidade de acumulação é de 6,3 milhões de m<sup>3</sup>;

**Barragem Serro Azul** – A maior e mais importante do sistema, com capacidade de acumular até 380 milhões de m<sup>3</sup>. Será implantada no rio Una em Palmares e constituirá o 2º. maior reservatório de Pernambuco;

**Barragem Igarapeba** – Será construída no rio Pirangi, afluente do Una, com capacidade de acumulação de 42,5 milhões de m<sup>3</sup>. O município é São Benedito do Sul.

Além das quatro barragens citadas serão construídas mais cinco em outros rios, para usos múltiplos, mantendo também a função de controle de cheias.

Além da construção de barragens, os estudos da SRHE, da APAC e da Universidade Federal de Pernambuco, em andamento, indicam a necessidade de ampliação da calha fluvial no perímetro urbano das três cidades mais atingidas: Palmares, Água Preta e Barreiros, para permitir o escoamento de vazões da ordem de 500m<sup>3</sup>/s. Esse valor equivale à defluência do conjunto de barragens projetado, acrescida da contribuição difusa ao longo dos rios, para um evento com tempo de recorrência de 100 anos. Estima-se que no presente, em função do assoreamento, destroços arrastados para o leito do rio e estreitamento da calha por ocupação das margens, a capacidade de escoamento da calha nos trechos urbanos seja aproximadamente a metade da necessária.

As primeiras intervenções, a serem iniciadas neste mês de julho de 2011, serão feitas nos trechos mais críticos da calha fluvial no perímetro urbano de cada cidade. A definição dessas intervenções decorre de avaliação em campo e simulações que apontaram caminhos preferenciais para invasão das cidades pelas águas do rio Una. As figuras 11 a 16, a seguir, destacam as intervenções e os caminhos preferenciais das águas durante as inundações em cada uma das três cidades destacadas.



Figura 11 – Trecho objeto de intervenção em Palmares, com áreas de corte e aterro ressaltadas.



Figura 12 – Simulação da enchente de 2000 em Palmares: processo de inundação no trecho a ser objeto de intervenção.



Figura 13 – Trecho objeto de intervenção em Água Preta



Figura 14 – Simulação da enchente de 2004 em Água Preta



Figura 15 – Trecho objeto de intervenção em Barreiros: local onde o rio Una abriu caminho para invasão da calha do rio Carimã, ampliando a inundação na cidade.



Figura 16 – Simulação da enchente de 2004 em Barreiros, com destaque para a invasão do rio Una na calha do rio Carimã.

### 3. CONCLUSÕES

As ações decorrentes da mobilização de todas as esferas de governo atuando em conjunto para enfrentamento da emergência e calamidade pública ocasionadas pelas inundações vem sendo

evidenciadas como a maneira mais adequada de dar retorno à necessidade de proteção dos cidadãos, primeiro da vida e em seguida do patrimônio. O resultado da destruição provocada pelas águas evidencia a importância de políticas de uso e ocupação do solo em toda a bacia hidrográfica e particularmente nas margens dos rios, com maior impacto no perímetro urbano. A demanda pela construção de barragens, a custos muito elevados, só se justifica pela impossibilidade de retirar cidades inteiras do leito de inundação. Independentemente da construção dessas barragens e da redução do risco de inundações catastróficas como as ocorridas, a retirada da população das margens do rio é a ação mais importante a ser executada.

#### **4. AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem às equipes técnicas da SRHE, APAC e ITEP – Instituto Tecnológico de Pernambuco, bem como das demais secretarias do governo de Pernambuco envolvidas em todo o trabalho que vem sendo realizado para concretizar as ações descritas neste artigo.

#### **REFERÊNCIAS**

CIRILO, J. A., RIBEIRO NETO, A. , DANTAS, C.E.O., SILVA, E.R., MONTENEGRO, S. M. G. L.; Control and Flood Forecasting in the State of Pernambuco, Brazil: General Structure of the Decision Support System. XIV World Water Congress, Porto de Galinhas, Pernambuco, Brasil, 2011. Anais.

COBBY, D. M., MASON, D. C., MATTHEW S. HORRITT, M. S., BATES, P.D.; Two-dimensional hydraulic flood modelling using a finite-element mesh decomposed according to vegetation and topographic features derived from airborne scanning laser altimetry. Hydrological Process. 17, 1979–2000 (2003)

GIBSON, S., NYGAARD, C., SCLAFANI, P; Assessing Flooding Risk and Impact due to System Sediment. 2nd Joint Federal Interagency Conference, Las Vegas, NV, June 27 - July 1, 2010

HAILE, A. T., RIENTJES, T.H.M.; Effects of Lidar Dem Resolution in Flood Modelling: a Model Sentitivity Study for the City of Tegucigalpa, Honduras.

ISPRS WG III/3, III/4, V/3 Workshop "Laser scanning 2005", Enschede, the Netherlands, September 12-14, 2005.

MARKS K, BATES P. D. Integration of high-resolution topographic data with floodplain flow models. Hydrological Processes 14: 2109–2122, 2000.

PERNAMBUCO. Ações da Operação Reconstrução – Detalhamento, Secretaria de Planejamento e Gestão, Relatório, 2011.

RIBEIRO NETO, A. ,CIRILO, J. A., DANTAS, C.E.O. Integração de Modelos Chuva-Vazão e Hidrodinâmico para Simulação de Cheias. XIV World Water Congress, Porto de Galinhas, Pernambuco, Brasil, 2011. Anais.