

## COMPARATIVO DAS PRECIPITAÇÕES DOS EVENTOS EXTREMOS DE 2010 E 2017 OCORRIDOS NA BACIA DO RIO UNA EM PERNAMBUCO E ESTIMATIVA DOS EFEITOS DE BARRAGEM DE CONTEÇÃO DE CHEIAS

*Fellipe Henrique Borba Alves\*<sup>1\*</sup> & José Almir Cirilo<sup>2</sup> & Marcelo Cauás Asfora<sup>3</sup> & Cristiane Ribeiro de Melo<sup>4</sup>*

**Resumo** – O Nordeste brasileiro é comumente associado às secas prolongadas. No entanto, áreas específicas estão susceptíveis à ocorrência de chuvas intensas, onde podem ser geradas enchentes catastróficas. Em Pernambuco, após as chuvas intensas de 2010, foram iniciadas ações estruturadoras para mitigar os efeitos das cheias. Entre estas ações se inclui a construção de cinco barragens de contenção e o desenvolvimento de modelos hidrológicos e hidrodinâmicos para a bacia do rio Una. Em maio de 2017, quando apenas uma das barragens de contenção estava concluída, ocorreu precipitação de intensidades semelhantes às ocorridas em 2010, causando novamente graves prejuízos. Nesse contexto, busca-se realizar comparativo das precipitações ocorridas em 2010 e 2017, identificar as vazões de pico no município de Palmares-PE em 2017 e simular em modelo hidrodinâmico bidimensional as áreas inundadas neste evento. Entre os resultados obtidos, identifica-se que a precipitação média na bacia do Una foi 9,3% maior em 2017 do que em 2010, a vazão de pico foi da ordem de 818m<sup>3</sup>/s e esta mesma vazão poderia chegar a 1.170m<sup>3</sup>/s caso a barragem Serro Azul não existisse. Conclui-se que para aumentar a segurança das cidades da bacia do Una, é de extrema importância concluir as demais obras de contenção de enchentes.

**Palavras-Chave** – controle de cheias, modelagem hidrodinâmica, bacia do rio Una.

## COMPARISON OF THE PRECIPITATIONS IN THE EXTREME EVENTS OF 2010 AND 2017 OCCURRED IN UNA RIVER BASIN IN PERNAMBUCO AND ESTIMATE OF THE EFFECTS OF THE FLOOD CONTROL RESERVOIR

**Abstract** – The Brazilian Northeast is commonly associated with prolonged droughts. However, specific areas are susceptible to intense rainfall, where catastrophic flooding can occur. In Pernambuco, after the intense rains of 2010, structuring actions were initiated to mitigate the floods's effects. These actions include construction of five containment dams and development of hydrological and hydrodynamic models for Una river basin. In May 2017, when only one of the containment dams was completed, new intensities precipitation occurred and those occurred in 2010, again causing the graves of losses. In this context, we intend to compare the precipitations occurred in 2010 and 2017, to identify as peak voids in Palmares-PE in 2017 and to simulate the two-dimensional hydrodynamic model as areas flooded in this event. Among the obtained results, it's identified that the average precipitation in the Una basin was 9,3% higher in 2017 than in 2010, a peak flow out of the order of 818m<sup>3</sup>/s if it was via flow or not a case 1.170m<sup>3</sup>/s Case the dam is not completed. It is concluded that, in order to increase the safety of the cities of the Una basin, it is extremely important to conclude as other works to contain floods.

**Keywords** – Flood control, hydrodynamic modeling, Una river basin.

<sup>1</sup> Secretaria de Desenvolvimento Econômico de Pernambuco – SDEC, Secretaria Executiva de Recursos Hídricos – SERH, fellipebba@hotmail.com.

\* Autor Correspondente

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste – CAA, almir.cirilo@gmail.com.

<sup>3</sup> Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC, mcasfora@apac.pe.gov.br.

<sup>4</sup> Serviço Geológico do Brasil – CPRM, cristiane.melo@cprm.gov.br.

## 1.0 INTRODUÇÃO

O Estado de Pernambuco possui predominância de clima semiárido, sendo a maior parte do seu território afetada pela escassez das chuvas. No entanto, a ocorrência de chuvas intensas é também presente e periodicamente são registrados danos principalmente em municípios da região litorânea e da Zona da Mata. A bacia do rio Una, em Pernambuco, possui registros de grandes cheias, sendo o evento ocorrido em 2010 um dos maiores já registrados.

A partir de 2010 foram iniciadas ações para mitigar os efeitos das catástrofes que periodicamente atingem a região, entre as quais destaca-se a desapropriação de áreas de risco, construção de barragens de contenção e o desenvolvimento de modelos computacionais para simulação de eventos extremos, conforme apresentado nos trabalhos de Ribeiro Neto, Cirilo & Dantas (2011); Dantas, (2012); Almeida (2013); Silva (2015); Ribeiro Neto et al. (2015) e Alves (2017).

O Sistema Integrado de Contenção de Cheias na Mata Sul se propõe a controlar as enchentes em áreas das bacias hidrográficas dos rios Una e Sirinhaém. Cinco barragens vão proteger das enchentes uma área da bacia hidrográfica do Una de 2.060km<sup>2</sup> (30,58% da área total), onde estão inseridas 10 sedes municipais (Belém de Maria, Catende, Cupira, Jaqueira, Lagoa dos Gatos, Maraiial, Palmares, São Benedito do Sul, Água Preta e Barreiros).

Além das obras estruturais, a Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC implantou um sistema de monitoramento e alerta precoce de chuvas intensas e de enchentes que utiliza uma extensa rede de equipamentos automáticos de monitoramento das chuvas e níveis de rios, imagens de satélites meteorológicos e um radar meteorológico que monitora as regiões do litoral, mata e agreste do estado. Para avaliação do impacto das enchentes são utilizados modelos hidrológicos e modelos hidrodinâmicos unidimensionais e bidimensionais, utilizando as ferramentas desenvolvidas pelo Centro de Engenharia Hidrológica – HEC, disponibilizado pelo Corpo de Forças Armadas dos Estados Unidos. Estes modelos tanto podem ser alimentados pelos resultados dos modelos de previsão meteorológica, como pelos dados observados pela rede.

## 2.0 METODOLOGIA

### 2.1 Área de Estudo

Em Pernambuco, a Unidade de Planejamento Hídrico UP05 corresponde à bacia hidrográfica do rio Una e está inserida nas regiões de desenvolvimento do Agreste e Mata Sul do Estado de Pernambuco, entre as coordenadas 08°17'14" e 09°01'25" de latitude sul, e 35°07'48" e 36°42'10" de longitude oeste, conforme Figura 1. A área total da bacia é de 6 295,77 km<sup>2</sup>, sendo que aproximadamente 450 km<sup>2</sup> estão inseridos no Estado de Alagoas. A nascente do Una está localizada na serra da Boa Vista, no município de Capoeiras, a uma altitude de aproximadamente 900 m e percorre uma extensão aproximada de 255 km até sua foz, no município de São José da Coroa Grande.

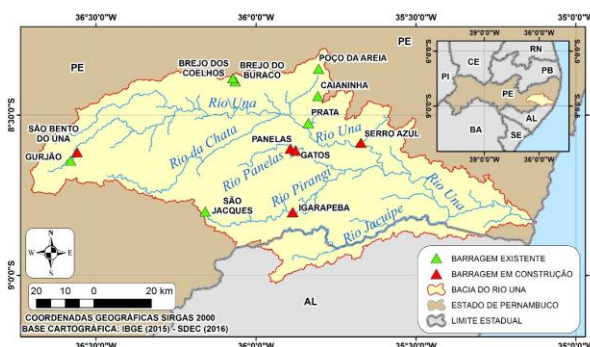


Figura 1 – Mapa de localização e hidrografia principal da bacia do rio Una.

## 2.1 Comparativo das precipitações dos eventos de 2010 e 2017 na bacia do rio Una

Para quantificar a precipitação na bacia do rio Una no evento de 2010 foram utilizados dados hidrológicos obtidos na plataforma Hidroweb onde estão as informações publicadas pela Agência Nacional de Águas – ANA e os dados da Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC. No total foram selecionados 47 postos e após análise de consistência e preenchimento de falhas, foram utilizados os dados de precipitação diária acumulada no período de 16 a 20 de junho de 2010.

Para quantificar a precipitação na bacia do rio Una no evento de 2017 observou-se que alguns postos representativos não haviam registrado dados consistentes, sendo importante adicionar os dados das plataformas de coleta de dados do Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais – CEMADEN, obtidos através do mapa iterativo *on-line* para o período de 25 a 29 de maio de 2017.

Os dados destes períodos dias foram agrupados em tabela com nome do posto, coordenadas e precipitação acumulada. Em seguida foi realizada a espacialização dos dados através de ferramentas de interpolação geoespacial. Neste caso foi utilizado o método do vizinho mais próximo, “*Natural Neighborhood*”.

## 2.2 Estimativa do amortecimento de cheia em 2017 com a barragem Serro Azul

A cheia de 2010 serviu de referência para o desenvolvimento de modelos hidrológicos e hidrodinâmicos conforme detalhado nos trabalhos de Ribeiro Neto, Cirilo & Dantas (2011); Dantas, (2012); Silva (2015); Ribeiro Neto et al. (2015) e Alves (2017). Estes trabalhos deixaram disponíveis para a bacia do rio Una uma configuração do modelo hidrológico HEC-HMS. Além deste modelo hidrológico, encontra-se disponível um modelo hidrodinâmico unidimensional, desenvolvido no HEC-RAS, que permite simular o comportamento dos hidrogramas gerados ao longo da calha dos rios considerando os reservatórios de contenção de cheias, conforme indicações da Figura 2. As vazões utilizadas para simulação hidrodinâmica do evento de 2017 foram obtidas a partir de estação fluviométrica convencional, utilizando dados fornecidos pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM.

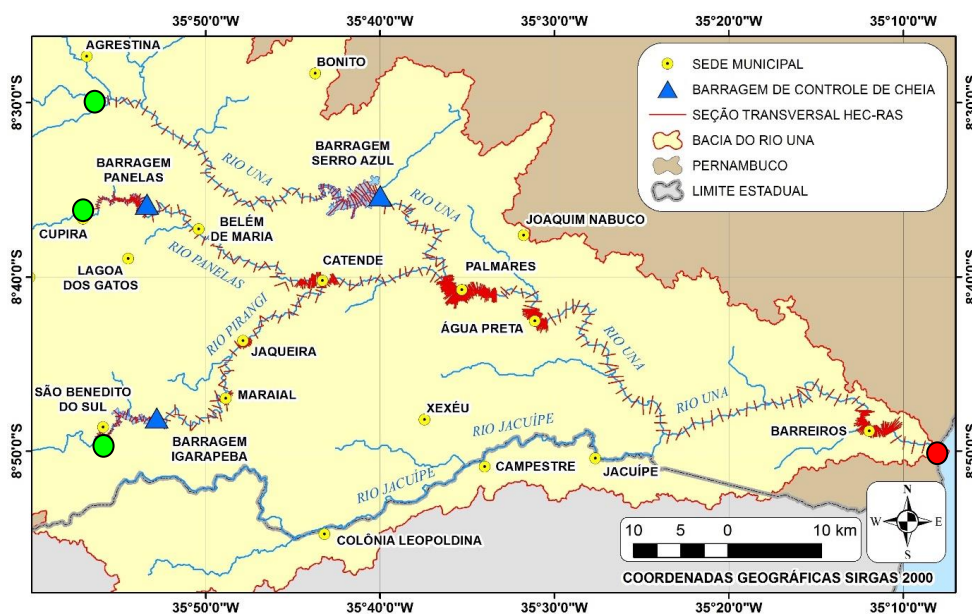


Figura 2 – Localização das seções transversais do modelo hidrodinâmico unidimensional, municípios e barragens para controle de cheias da bacia do Una.

Fonte: Alves, (2017).

Para delimitação das áreas inundadas no município de Palmares, para o evento de 2017, foi realizada simulação hidrodinâmica bidimensional em regime de escoamento não permanente. Para esta simulação hidrodinâmica foi utilizado o modelo computacional HEC-RAS 5.0.3, tendo como insumo cartográfico os produtos do mapeamento Pernambuco Tridimensional - PE3D. Foram utilizadas ortofotos na escala 1:5.000 com resolução espacial de 50 cm e Modelo Digital do Terreno, obtido de perfilamento a laser com precisão altimétrica de 25 cm referenciado a partir do MAPGEO 2010.

Na etapa de definição das características geométricas do HEC-RAS 2D foi gerado sobre o terreno uma malha regular de células quadradas com 40 m de lado na maior parte da área. A discretização da malha bidimensional foi adotada com base nos arquivos de exemplos disponíveis no HEC-RAS 5.1.3. Células com outras formas geométricas foram criadas a partir da delimitação de linhas de quebra (*breaklines*), tais células foram inseridas para delimitação de estruturas especiais como margens dos rios, estradas e pontes (FIGURA 3).

Na sequência podem ser definidas as condições de contorno que permitem incluir as vazões de entrada (*Inflow*) e o método de cálculo das vazões de saída (*Outflow*). A vazão de entrada A foi obtida do modelo unidimensional, a partir da seção transversal imediatamente a montante da área urbana do município de Palmares. A vazão de entrada B é originada de um pequeno afluente, e foi obtida do resultado de uma sub-bacia do modelo HEC-HMS. O cálculo da vazão de saída foi realizado em função da profundidade normal (*Normal Depth*) que calcula a descarga segundo a Fórmula de Manning, sendo necessário apenas informar a declividade de Manning (*Friction Slope*).

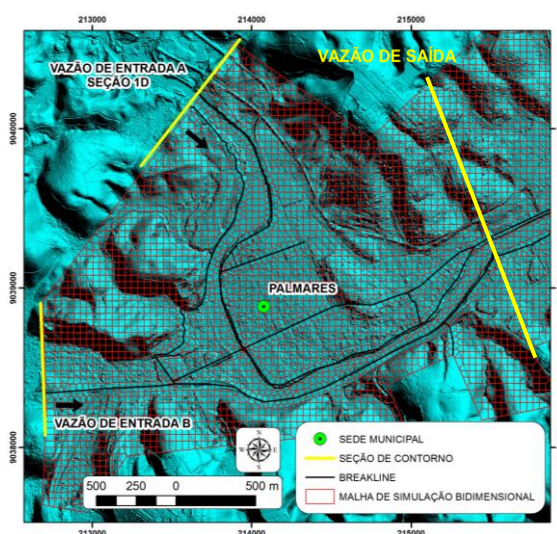


Figura 3 - Malha de simulação bidimensional sobre o Modelo Digital do Terreno – MDT da cidade de Palmares-PE.

Fonte: Alves, (2017)

A vazão de entrada foi obtida da seção imediatamente a montante da área urbana do município simulado. No entanto, os sensores utilizados para o perfilamento a laser do PE3D não fornecem informações abaixo da superfície de água: logo, para a simulação hidrodinâmica bidimensional, deve-se utilizar algum artifício para corrigir a falta de batimetria da calha do rio. Neste trabalho, a solução adotada consistiu na identificação da vazão média do rio em Palmares no dia do mapeamento a laser, considerada como uma vazão de base ( $Q_{MDT}$ ). Considerando que o MDT utilizado possui essa vazão preenchendo a calha do rio durante toda a simulação, foi subtraído a vazão de base ( $Q_{MDT}$ ) do hidrograma de entrada. O passo de tempo utilizado para as simulações foi de 1 minuto, enquanto os resultados foram calculados para intervalos de 30 minutos. O pós-processamento das simulações bidimensionais foi realizado na aplicação RAS Mapper, aperfeiçoada a partir do HEC-RAS 5.0.

### 3.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Comparativo das precipitações dos eventos de 2010 e 2017 na bacia do rio Una

A distribuição da chuva feita com os dados dos postos pluviométricos da região do Una, para o período de 16 a 20 de junho de 2010, mostra que toda área de contribuição da bacia recebeu precipitações intensas. Neste período de 5 dias, a precipitação média em toda a bacia foi de 223 mm, que varia de 116 a 370 mm conforme distribuição espacial mostrada na Figura 4.

Percebe-se que a distribuição da chuva não é uniforme ao longo da bacia e as menores precipitações ocorreram na região Agreste do Estado, entre os municípios de São Bento do Una e Cachoeirinha, onde ocorreram precipitações entre 116 e 200 mm, representando cerca de 30% da área da bacia. Entre Cachoeirinha e Belém de Maria e a bacia do rio Jacuípe, ocorreram precipitações entre 200 e 300 mm, que representam cerca de 60% da área da bacia. Em 10% da bacia do rio Una ocorreram as maiores precipitações, na faixa e 300 a 370 mm, caindo sobre os municípios de Catende, Palmares e Água Preta.

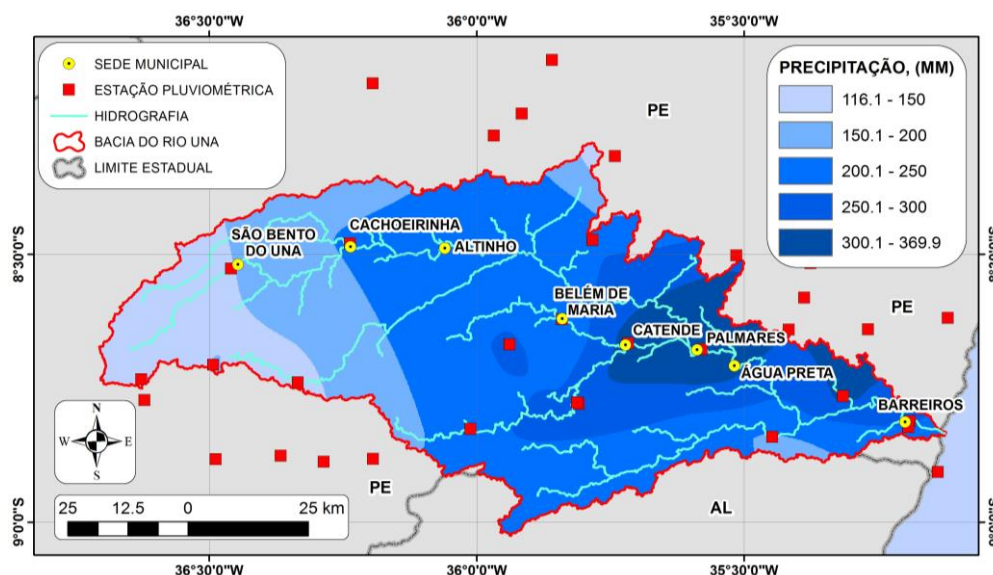


Figura 4 – Precipitação acumulada na bacia do rio Una no período de 16 a 20 de junho de 2010.

Fonte: Alves, (2017)

A distribuição da chuva feita com os dados dos postos pluviométricos e as plataformas de coletas de dados da região do Una, para o período de 25 a 29 de maio de 2017, mostra a existência de correlação espacial entre os eventos de 2010 e 2017. Neste período de 5 dias, a precipitação média na bacia foi de 246 mm, variando de 100 a 466 mm conforme distribuição espacial apresentada na Figura 5. Ou seja, em relação a precipitação média na bacia do Una, a chuva de 2017 foi 9,3% maior que a chuva de 2010.

Em 2017, as menores precipitações também ocorreram na região Agreste do Estado, entre os municípios de São Bento do Una e Cachoeirinha, onde observa-se que em 33% da bacia ocorreram precipitações entre 100 e 200 mm. Em cerca de 35% da área da bacia ocorreram precipitações entre 200 e 300 mm, compreendendo as áreas de contribuição dos rios Panelas, Pirangi. As maiores precipitações, na faixa de 300 a 466 mm, representam aproximadamente 32% da área da bacia e concentraram-se entre os municípios de Água Preta e Barreiros.

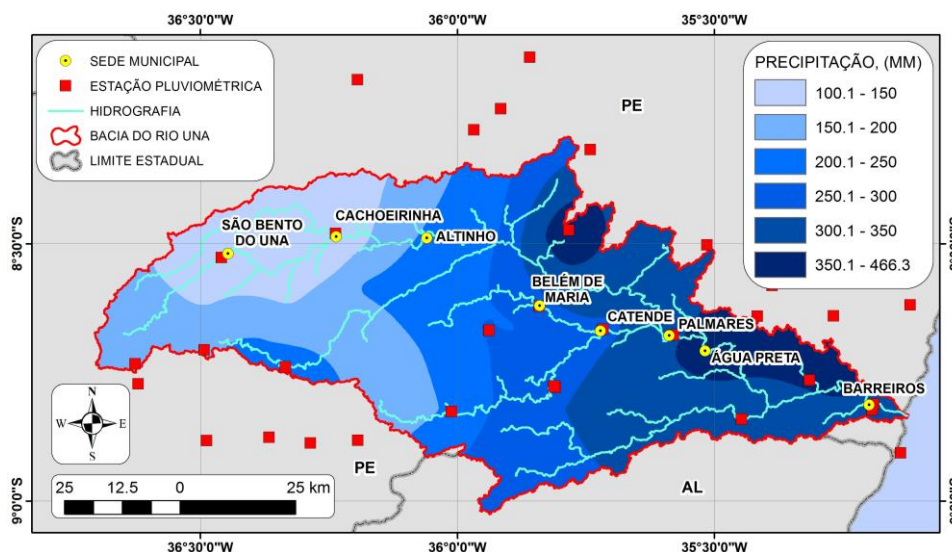


Figura 5 – Precipitação acumulada na bacia do rio Una no período de 25 a 29 de maio de 2017.

Desse modo, entende-se que a precipitação do evento de 2017 foi ainda maior que a de 2010 quando comparado um período de 5 dias. No entanto, constata-se que em 2017 as precipitações foram ainda mais concentradas na porção mais baixa da bacia entre Catende e Barreiros, enquanto que em 2010 verificou-se que a maior parte da bacia recebeu precipitações entre 200 e 300 mm.

## 2.2 Estimativa do amortecimento de cheia da barragem Serro Azul

O evento de cheia de 2017 ainda causou sérios danos à população e à infraestrutura urbana da Zona da Mata Sul de Pernambuco, no entanto a barragem Serro Azul evitou que a tragédia fosse ainda maior. Sobre os aspectos dos registros hidrológicos, o evento de 2017 trouxe um novo cenário para a modelagem na bacia do Una. Instituições como ANA, APAC, CEMADEN e CPRM, parceiras e responsáveis pelo monitoramento hidrológico, reforçaram o sistema de monitoramento e proporcionaram melhorias significativas na qualidade dos registros do evento de 2017 quando comparado aos dados disponíveis para o evento de 2010.

No caso das vazões registradas na estação fluviométrica convencional Palmares 39560000, foi identificado que uma vazão máxima de 818 m<sup>3</sup>/s no dia 28 de maio de 2017. A vazão máxima estimada caso a barragem Serro Azul não existisse seria de 1.170 m<sup>3</sup>/s, demonstrando que a vazão de pico foi amortecida em 30,0% devido a barragem, conforme hidrogramas apresentados na Figura 6.

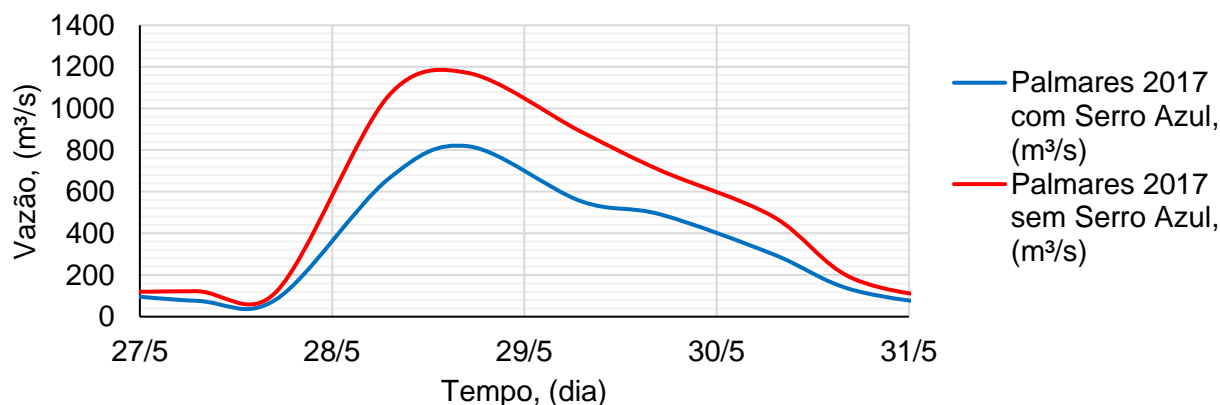


Figura 6 – Hidrograma da cheia de 2017 em Palmares para situação com barragem e sem barragem.

A barragem Serro Azul acumulou 78 hm<sup>3</sup> em apenas três dias, o equivalente a 60% do volume que chegou a Palmares. Considerando que a capacidade da barragem é de 303 hm<sup>3</sup>, sendo aproximadamente 173 hm<sup>3</sup> destinados ao amortecimento de cheias, percebe-se que esta barragem poderá contribuir ainda mais dependendo da distribuição da precipitação na bacia.

Após simulação hidrodinâmica bidimensional para identificação das áreas afetadas pela enchente de 2017, foram obtidos os limites da inundação que demonstram os efeitos ocorridos na inundação de maio de 2017, conforme representado na Figura 7. A Figura 8 apresenta a situação teórica ao considerar que a barragem Serro Azul não existisse. Tal situação demonstra a importância da estrutura de contenção e evidencia que as demais barragens devem ser concluídas o mais breve possível para aumentar a segurança da população de Palmares e outros municípios que possuem áreas urbanas às margens dos rios da bacia do Una.

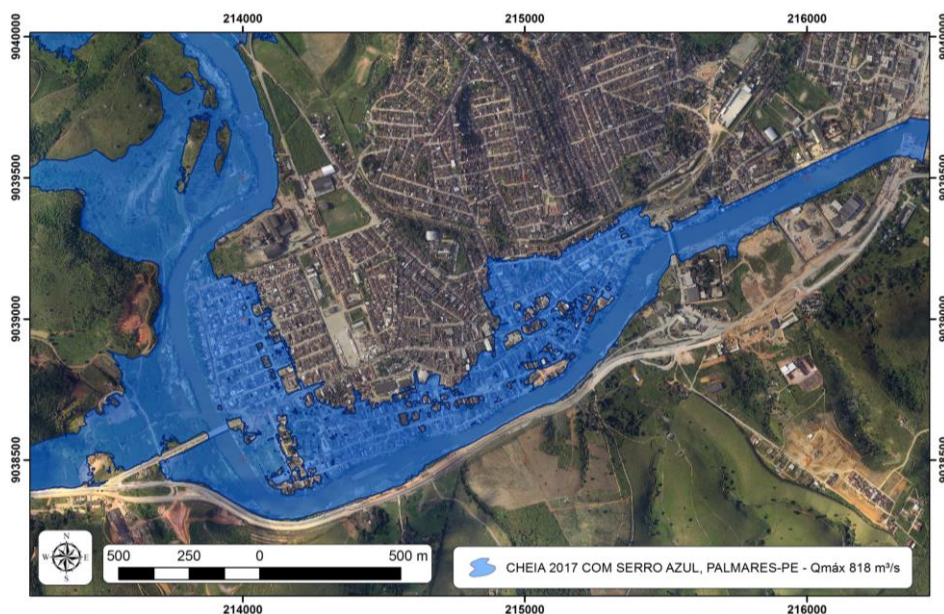


Figura 7 – Mapa de inundação do município de Palmares-PE, considerando vazões observadas no evento de 2017.

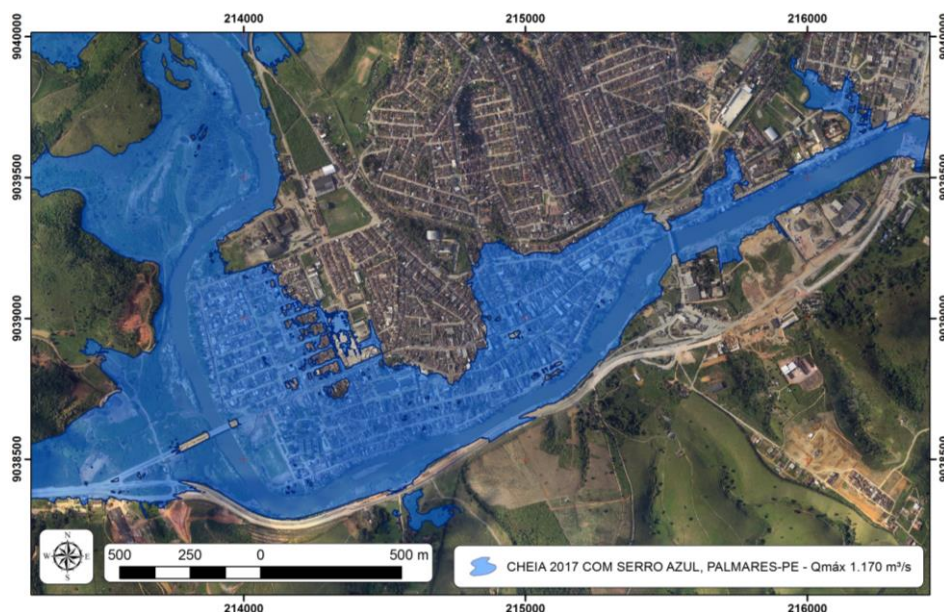


Figura 8 – Mapa de inundação do município de Palmares-PE, considerando vazões estimadas para situação sem a barragem Serro Azul no evento de 2017.

## 4.0 CONCLUSÕES

De acordo com as informações apresentadas conclui-se que em maio de 2017 ocorreram precipitações ainda mais intensas que em 2010, sendo a média da precipitação acumulada em 5 dias 9,3% maior em 2017. A vazão máxima observada na estação fluviométrica de Palmares foi 818 m<sup>3</sup>/s, sendo estimado que sem a barragem Serro Azul esta vazão seria de 1.170 m<sup>3</sup>/s, havendo um amortecimento de 30,0% da vazão de pico. Por fim, conclui-se que a conclusão da barragem Serro Azul teve função essencial para minimizar os efeitos das enchentes ocorridas em 2017.

## 5.0 AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido a partir da colaboração de figuras institucionais como ANA, APAC, CEMADEN, CPRM, UFPE e Governo do Estado de Pernambuco. Além das instituições, cabe salientar a importante contribuição dos diversos técnicos envolvidos que ao longo dos anos colaboram para eficiência da gestão de recursos hídricos no âmbito nacional e estadual.

## 6.0 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Keyla Almeida dos. 2010. **Modelagem do acompanhamento e controle de cheias em bacias hidrográficas de grande variação de altitude. Estudo de caso: Bacia do rio Mundaú.** 107f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

ALVES, Fellipe Henrique Borba. 2017. **Sistema de previsão de enchentes: integração de modelos de previsão de chuva, simulação hidrológica e hidrodinâmica.** 182f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

RIBEIRO NETO, Alfredo; CIRILO, José Almir; DANTAS, Carlos Eduardo de Oliveira. Integração de Modelos Chuva-Vazão e Hidrodinâmico para Simulação de Cheias. In: IWRA WORLD WATER CONGRESS, 14., 2011, Porto de Galinhas, Pernambuco, Brasil. **Anais...** Ipojuca: IWRA, 2011. 1 CD-ROM.

DANTAS, Carlos Eduardo de Oliveira. 2012. **Previsão e controle de inundações em meio urbano com suporte de informações espaciais de alta resolução.** 212f. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

SILVA, Edilson Raimundo. 2015. **Modelagem Integrada para Controle de Cheias, Previsão e Alerta de Inundações: Estudo de Caso da Bacia do Rio Una em Pernambuco.** 144f. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.