

SIMULAÇÃO DA CHEIA DE 2010 NO MUNICÍPIO DE CORRENTES

Keyla Almeida dos Santos¹, Sidney Renan Moraes Barbosa², Joyce Anita de Oliveira³, Andréa Catarina Nascimento da Fonseca⁴

RESUMO O objetivo deste trabalho foi simular o evento de 2010 para a cidade de Correntes, em Pernambuco com o uso do modelo hidrológico *HEC-HMS (Hydrologic Modeling System)* do *HEC (Hydrologic Engineering Center – US Army Corps of Engineers)*, gerando hidrogramas na sub-bacia de Santana do Mundaú, parte da bacia do Rio Mundaú. Foram utilizados os aplicativos “*Arc Hydro 10*” e “*HEC-GeoHMS 10.0*” instalados no *ArcMap* para o pré-processamento dos dados. Com o modelo digital do terreno, a rede de drenagem e os limites da bacia, o aplicativo produz um arquivo de saída para ser usado pelo modelo hidrológico *HEC-HMS* e um mapa esquemático com o resumo das informações da bacia trabalhada. Os eventos escolhidos para calibração e validação foram 1994, 1997, 2000, 2005 e 2008. Foram escolhidos de acordo com a série histórica dos dados de vazão da estação fluviométrica mais próxima, que fica a jusante da cidade de Correntes, a estação fluviométrica de Santana do Mundaú – AL.

ABSTRACT The aim of this study was to simulate the 2010 event for the city of Correntes, in Pernambuco using the hydrologic model *HEC-HMS (Hydrologic Modeling System)* *HEC (Hydrologic Engineering Center - U.S. Army Corps of Engineers)*, generating hydrographs in sub-basin Santana do Mundaú, part of the river basin Mundaú. Were used applications “*Arc Hydro 10*” and “*HEC-GeoHMS 10.0*” installed in *ArcMap* for the preprocessing of data. With the digital terrain model, the drainage network and the limits of the basin, the application produces an output file to be used by the hydrologic model *HEC-HMS* and a flow chart summarizing the information Bowl crafted. The events selected for calibration and validation were 1994, 1997, 2000, 2005 and 2008. Were chosen according to the historical series of data flow fluviometric nearest station, which is located downstream of the city of Correntes, the station fluviometric Santana Mundaú - AL.

Palavras-chave: Modelos Hidrológicos, Correntes – PE, Cheia 2010.

¹ Engenheira Hidróloga da CPRM Serviço Geológico do Brasil, Av. Sul, 2291, 50770-011, Recife-PE, fone:(81) 3316.1464, E-mail: keyla.santos@cprm.gov.br

² Técnico de Hidrologia da CPRM Serviço Geológico do Brasil, Av. Sul, 2291, 50770-011, Recife-PE, fone:(81) 3316.1464, E-mail: sidney.barbosa@cprm.gov.br

³ Técnica de Hidrologia da CPRM Serviço Geológico do Brasil, Av. Sul, 2291, 50770-011, Recife-PE, fone:(81) 3316.1464, E-mail: joyce.oliveira@cprm.gov.br

⁴ Estagiária da CPRM Serviço Geológico do Brasil, CTG-UFPE, Av. Sul, 2291, 50770-011, Recife-PE, fone:(81) 3316.1464, E-mail: andrea.fonseca@cprm.gov.br

1 – INTRODUÇÃO

No Brasil ocorreram diversos eventos extremos nos últimos anos. Na região Nordeste, particularmente na bacia do rio Mundaú, Pernambuco, área de estudo deste trabalho, registram-se como eventos marcantes os ocorridos em 2000 e 2010.

O evento de junho de 2010, nos territórios pernambucano e alagoano, provocou destruição avassaladora, principalmente nas cidades localizadas nas bacias hidrográficas dos rios Capibaribe, Una, Sirinhaém, Mundaú e Paraíba. Um estudo realizado pelo Banco Mundial avaliou em três bilhões de dólares o montante de perdas e danos gerados para a economia pernambucana como consequência deste evento (SANTOS, 2013).

O presente trabalho apresenta como principal objetivo simular a cheia de 2010 no município de Correntes, localizado no Estado de Pernambuco, aplicando o modelo hidrológico *HEC-HMS* (*Hydrologic Modeling System*) do *HEC* (*Hydrologic Engineering Center – US Army Corps of Engineers*).

2 – LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO

O município de Correntes está localizado na mesorregião Agreste e na Microrregião Garanhuns do Estado de Pernambuco, limitando-se ao norte com Garanhuns e Palmeirina, ao sul e a leste com o estado de Alagoas, e a oeste com o município de Lagoa do Ouro.

A mesorregião do agreste pernambucano é formada pela união de 71 municípios distribuídos em seis microrregiões.

Na **Figura 1**, está ilustrada em vermelho a mesorregião do Agreste no Estado de Pernambuco. E na **Figura 2** os municípios inseridos nela, as demarcações das microrregiões e a localização do município de Correntes.



Figura 1 - Localização da mesorregião do Agreste no Estado de Pernambuco

A área municipal ocupa 284,1 km² e representa 0,29% do Estado de Pernambuco. A sede do município tem uma altitude aproximada de 391 metros. As coordenadas geográficas de 09°07'44" de latitude sul e 36°19'49" de longitude oeste de Greenwich.



Figura 2 – Municípios da mesorregião do Agreste no Estado de Pernambuco e localização do município de Correntes

O município está incluído na área geográfica de abrangência do semiárido brasileiro, definida pelo Ministério da Integração Nacional em 2005. Esta delimitação tem como critérios o índice pluviométrico inferior a 800 mm, o índice de aridez até 0,5 e o risco de seca maior que 60%.

O município de Correntes situa-se nos domínios da bacia hidrográfica do Rio Mundaú. Tem como principais tributários os rios Mundaú, Correntes, Mundauzinho e Caruru.

2 – COLETA, AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS

Foi feito um levantamento das estações pluviométricas e fluviométricas na sub-bacia de Santana do Mundaú e no seu entorno. De um total de 33 estações pluviométricas, 19 são do Laboratório de Meteorologia de Pernambuco (LAMEPE), 3 da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), 6 da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Alagoas (SEMARH-AL) e 5 da Agência Nacional de Águas/Serviço Geológico do Brasil - CPRM (ANA/CPRM) e uma estação fluviométrica da ANA/CPRM. O período de dados das estações trabalhadas neste estudo é toda a série histórica que se tinha disponível, consistido e/ou bruto, até o ano de 2010.

A estação fluviométrica utilizada no estudo é a de Santana do Mundaú (cód. 39700000) da ANA/CPRM localizada na bacia do Mundaú, por ser a estação mais próxima do município de Correntes com dados. Esta estação serviu de base para a calibração do modelo hidrológico.

Foram escolhidos, com base no hidrograma da estação, os cinco maiores eventos ocorridos desde 1992, são eles: 1994, 1997, 2000, 2005 e 2008.

3 – A CHEIA DE 2010

Em junho de 2010, diversos municípios dos Estados de Pernambuco e Alagoas foram atingidos por fortes temporais provocados por sistemas meteorológicos vindos do litoral. Ambos os Estados tiveram um número significativo de municípios devastados pelas ondas de cheias.

Em Alagoas, 28 municípios (27,4%) foram afetados, sendo que 04 decretaram situação de emergência e 15 decretaram estado de calamidade pública. Em Pernambuco, 67 municípios foram afetados, 30 municípios com situação de emergência e 9 em estado de calamidade pública.

4 – MODELAGEM HIDROLÓGICA

O *HEC-HMS* é um modelo que inclui uma grande variedade de métodos para simular o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas e canais. Tal simulação é feita através de processos de transformação de chuva em vazão (FELDMAN, 2000). Dentro deste contexto, o modelo foi inicialmente desenvolvido para suprir estudos conduzidos pelo próprio *Hydrologic Engineering Center (HEC)*, tais como: inundações em centros urbanos, frequência de inundações, perdas por enchentes e, dimensionamento e operação de reservatórios (MACEDO, 2010).

De posse do modelo digital de elevação *SRTM* e vetorizada automaticamente a hidrografia, foi dividida a bacia de drenagem de Santana do Mundaú em 8 sub-bacias, conforme modelo esquemático abaixo (**Figura 3**). Nessa figura observamos também o ponto no rio Mundaú no município de Correntes onde será estimada a vazão da cheia de 2010.

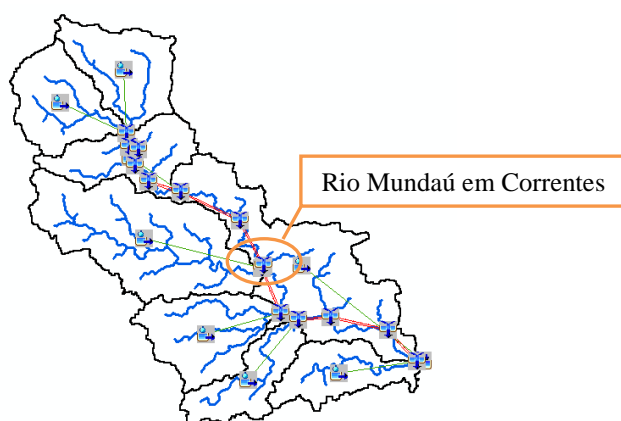


Figura 3 – Modelo esquemático da bacia modelada no *HEC-HMS* e localização do ponto no rio Mundaú em Correntes

Segundo Tavares & Castro (2005), a composição de um projeto no *HEC-HMS* é realizada de maneira modular, em que conjuntos de dados podem ser independentemente manipulados, mas que respeitam uma seqüência de acionamento para a realização de simulações.

Conforme Milde *et al.* (2002), o modelo assume que uma bacia hidrográfica é reproduzida como um grupo interligado de áreas, e os processos hidrológicos podem ser representados pelos parâmetros que refletem as condições médias dentro da área. Se essas médias não forem apropriadas para uma subárea, será necessário considerar subáreas menores, nas quais os dados médios possam ser aplicados.

Para os dados de evapotranspiração foram usado o posto de Garanhuns (1964-1993) do banco de dados da SUDENE. As médias mensais foram calculadas a partir da série histórica dos dados de evaporação no tanque.

No presente trabalho, foi empregado o método *Soil Moisture Accounting (SMA)*, para o cálculo do balanço hídrico no solo (*Loss Method*), o método do *Hidrograma Unitário SCS* para a propagação do escoamento na superfície da bacia (*Transform Method*), o método do *Reservatório Linear* para a propagação do escoamento subterrâneo (*Baseflow Method*) e o método de *Muskingum Cunge* para a propagação no canal (*Routing Method*). O método *SMA* utiliza reservatórios para representar o armazenamento e o movimento da água na camada superficial do solo, na camada superior da zona saturada e na camada inferior da zona saturada.

O *HEC-HMS* requer a entrada de certos parâmetros. Dentre eles: área da bacia, comprimento do rio principal (L), comprimento do rio principal desde o ponto mais próximo do centroide da bacia até o exutório (Lcg), declividade da Bacia (S).

O tempo de concentração de cada uma das 8 sub-bacias foi calculado, a parte, pela fórmula de *Kirpich*, para que pudesse calcular o tempo de resposta das bacias (*lag time*), também requerido pelo programa, conforme abaixo:

$$T_c = 57 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (1)$$

Onde: T_c é o tempo de concentração (min);

L é o comprimento do rio (km);

H é a diferença de elevação entre o ponto mais remoto da bacia e a seção principal.

$$LagTime = 0,6(T_c) \quad (2)$$

Onde: $Lag\ Time$ é o tempo de resposta da bacia (min);

T_c é o tempo de concentração (min).

Depois da escolha dos métodos de cálculo e calculado alguns parâmetros, foram feitas as importações necessárias ao modelo, começando o ajuste dos parâmetros de entrada para a calibração.

Os resultados foram avaliados segundo os seguintes critérios:

- Coeficiente de Eficiência de *Nash - Sutcliffe*:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (Q_{Obs} - Q_{Cal})^2}{\sum (Q_{Cal} - Q_{Obs})^2} \quad (3)$$

Onde: Q_{Obs} é a vazão observada (m^3/s);

Q_{Cal} é a vazão calculada;

- Vazão máxima;
- Dia de ocorrência da vazão máxima;

As tentativas de ajuste dos parâmetros foram feitas por tentativa e erro, manualmente mudando os valores dos parâmetros de cada fase de cálculo do modelo. Foi escolhido o evento de 2000 para a calibração do modelo, pois é o segundo maior evento disponível e por ser um evento intermediário entre os outros eventos escolhidos para validação.

Para cada ajuste, foi calculado o coeficiente de *Nash - Sutcliffe*, que segundo SILVA *et al.* (2008) é um dos mais importantes critérios estatísticos para avaliar a precisão de modelos hidrológicos (**Tabela 1**). Os melhores coeficientes de *Nash - Sutcliffe* foram obtidos dos eventos de 2000, 2008 e 1994.

Tabela 1 – Coeficientes de *Nash - Sutcliffe* calculados para cada evento simulado

Evento 1994	Evento 1997	Evento 2000	Evento 2005	Evento 2008
16/06/94 a 26/06/94	06/05/97 a 15/05/97	30/07/94 a 05/08/00	29/05/05 a 07/06/05	15/05/08 a 21/05/08
$R^2 = 0.6625$	$R^2 = -0.2232$	$R^2 = 0.8112$	$R^2 = -1.0447$	$R^2 = 0.8590$

O coeficiente R^2 pode variar de negativo infinito até 1, sendo 1 um ajuste perfeito. O valor de R^2 é fortemente influenciado por erros nas vazões máximas, razão por que, quando R^2 é próximo de 1, o modelo está obtendo bom ajuste para as cheias. O desempenho de um modelo é considerado adequado e bom se o valor de R^2 supera 0,75, e é considerado aceitável se o valor de R^2 fica entre 0,36 e 0,75 (COLLISCHONN, 2001).

O hidrograma resultante do evento de 2000, utilizado para a calibração pode ser visto na **Figura 4**. E na **Figura 5**, encontra-se o evento de 2008, um dos eventos usados para validação.

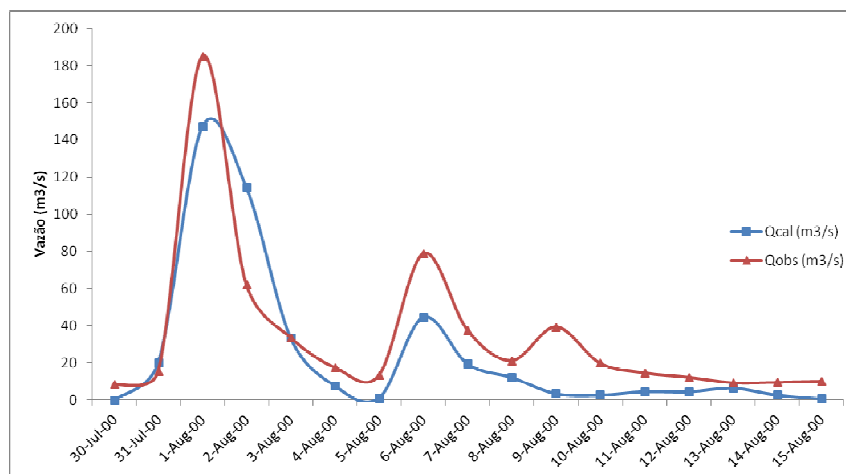


Figura 4 – Hidrograma de cheia entre os dias 30/07/00 a 15/08/00 (calibração do modelo)

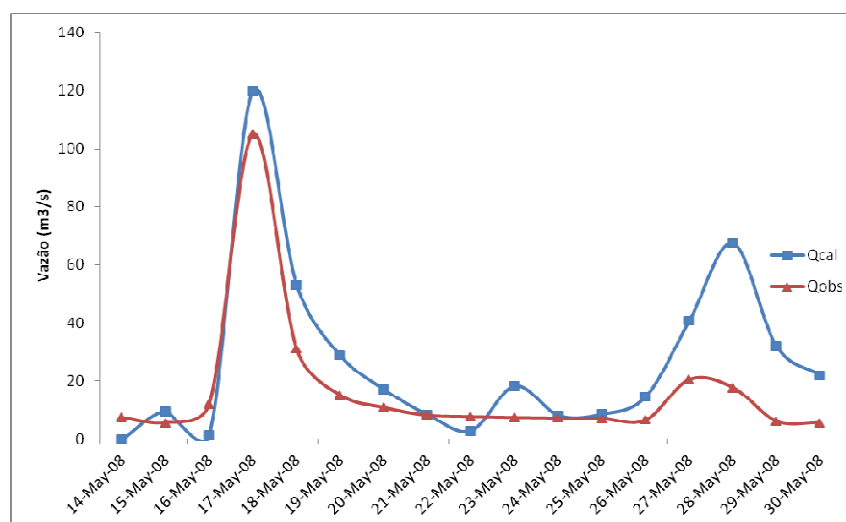


Figura 5 – Hidrograma de cheia entre os dias 14/05/08 a 30/05/08 (validação do modelo)

Após a calibração e validação do modelo foi simulado o evento de 2010, gerando-se uma vazão máxima estimada no rio Mundaú em Correntes no valor de $359,90 \text{ m}^3/\text{s}$.

5 - CONCLUSÕES

Os resultados da calibração do modelo *HEC-HMS* para o evento de 2000 e validação para os eventos 2008, 1994, 1997 e 2005 mostraram-se satisfatórios, pois, segundo os critérios adotados, o coeficiente de *Nash - Sutcliffe* ficou na faixa considerada aceitável para 1994, e adequado e bom para os eventos de 2000 e 2008. A vazão máxima calculada acompanhou os picos de vazões medidos e houve a correspondência nos tempos de ocorrência da vazão máxima. Apesar dos resultados insatisfatórios para os eventos de 1997 e 2005, pode-se considerar que o modelo foi capaz de representar de forma eficaz o pico de cheia na bacia do rio Mundaú.

Os parâmetros mais sensíveis na calibração foram: a infiltração máxima no solo, o percentual de impermeabilização do solo, o percentual de umidade inicial do solo e armazenamento do solo.

O *HEC-HMS* é uma boa ferramenta na construção de hidrogramas sintéticos e na previsão de cenários futuros, apresentando resultados satisfatórios nas simulações deste estudo. Outra vantagem do uso do modelo é a rápida resposta nos resultados, quando na alteração dos parâmetros.

Com a simulação do evento de 2010, pôde-se analisar a dimensão desse evento de cheia no município de Correntes. O número reduzido de eventos hidrológicos prejudicou uma calibração mais apropriada do modelo. Essa dificuldade pode ser contornada com a efetiva utilização dos modelos ao longo do tempo, na medida em que for crescendo o acervo de informações.

BIBLIOGRAFIA

COLLISCHONN, W. “*Simulação hidrológica em grandes bacias*”. Porto Alegre: UFRGS, 2001. 194p. Tese Doutorado.

FELDMAN, Arlen D. (USACE). “*Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Reference Manual*”. Davis, California, USA: U.S. Army Corps of Engineers, 2000. Disponível em: <[http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Technical%20Reference%20Manual_\(CPD-74B\).pdf](http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Technical%20Reference%20Manual_(CPD-74B).pdf)>. Acesso em: 18 dezembro 2012. Meio digital.

MACEDO, R. L. “*Estudo Hidrológico da Bacia do Rio Negrinho–SC Utilizando o HEC-HMS*”. Trabalho de Conclusão de Curso – TCC, Florianópolis, 2010.

MILDE, L. C. E.; MORAES, J. M.; MORTATTI, J.; FERRAZ, F. F. B.; GROppo, J. “*Modelo Espaço-temporal HEC-HMS: Avaliação na Bacia de Drenagem de Analândia*”. Revista Ciência e Tecnologia, v.10, n.19, p.61-69, 2002.

SANTOS, K. A. “*Modelagem do Acompanhamento e Controle de Cheias em Bacias Hidrográficas de Grande Variação de Altitude. Estudo de Caso: Bacia do Rio Mundaú*”. Recife: UFPE, 2013. 125p. Dissertação Mestrado.

SILVA, P. M. O.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; COELHO, G. “*Modelagem da Hidrógrafa de Cheia em uma Bacia Hidrográfica da Região Alto Rio Grande*”. Revista Engenharia Agrícola Ambiental, Campina Grande, v.12, n.3, p.258-265, 2008.

TAVARES, P. R. L.; CASTRO, M. A. H. de. “*Simulação de Perfis D’água e Planícies de Inundação Relacionados a Diferentes Cenários de Urbanização*” in Anais XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa, 2005.