

MODELO COMPUTACIONAL PARA GESTÃO HÍDRICA DE RIOS EM BACIAS SEMIÁRIDAS

**WANDSON DE FREITAS PEREIRA^{1*}, LUIZ ALBERTO RIBEIRO MENDONÇA²,
SÁVIO DE BRITO FONTENELE³, ANTONIO ITALCY DE OLIVEIRA JÚNIOR⁴, HUMBERTO ARAÚJO
FILGUEIRA JÚNIOR⁵**

¹ Graduando em Engenharia Civil, UFCA, Juazeiro do Norte-CE. Fone: (88) 3511-9254, wandsonf@gmail.com

² Dr. Professor Engenharia Civil, UFCA, Juazeiro do Norte-CE. Fone: (88) 3572-7200, larmce@gmail.com

³ Dr. Professor Faculdade Paraíso, FAP-CE, Juazeiro do Norte-CE. Fone: (88) 3512-3299, savio.fontenele@hotmail.com

⁴ Graduado em Engenharia Civil, UFCA, Juazeiro do Norte - CE. Fone: (88) 99646-5641, antonioitalcy@hotmail.com

⁵ Graduando em Engenharia Civil, UFCA, Juazeiro do Norte-CE. Fone: (88) 99922-1462, humbertofilgueirajr@gmail.com

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC' 2015
15 a 18 de setembro de 2015 - Fortaleza-CE, Brasil

RESUMO: Este trabalho pretende apresentar um modelo computacional capaz de reproduzir eventos de rios em bacias semiáridas com uma quantidade mínima de parâmetros, facilitando a sua utilização e aplicação, propondo ser uma ferramenta útil na gestão dos recursos hídricos em regiões do semiárido. O modelo efetua cálculos referentes ao escoamento superficial, infiltração e fluxo subterrâneo, com foco na interação rio-aquífero. O modelo foi parametrizado para duas áreas de estudo, a Microbacia do São José em Crato – CE e a Sub-bacia Hidrográfica Patos/Cariús/Iguatu em Iguatu – CE. Essas parametrizações foram otimizadas através de calibração. Simulações realizadas para eventos de pequeno porte obtiveram resultados não satisfatórios. Porém, o modelo apresentou boas respostas para simulações de eventos de grande magnitude e longa duração. O modelo proposto se apresenta como uma ferramenta útil para a gestão hídrica de rios semiáridos de médio e grande porte, caracterizados por uma ativa interação rio-aquífero.

PALAVRAS-CHAVE: Recursos hídricos, semiárido, modelo computacional, aquífero

COMPUTER MODEL FOR WATER MANAGEMENT OF RIVERS IN SEMI-ARID BASINS

ABSTRACT: This work intends to present a computational model capable of reproducing events of rivers in semi-arid basins with a minimum number of parameters, facilitating their use and application, proposing to be a useful tool in the management of water resources in semi-arid regions. The model performs calculations for the runoff, infiltration and groundwater flow, focusing on river-aquifer interaction. The model was parameterized for two study areas, the Watershed of São José in Crato - CE and Sub Basin Patos / Cariús / Iguatu in Iguatu - CE. These parameterizations have been optimized through calibration. Simulations for small events did not obtain satisfactory results. However, the model showed good responses to the simulations of large magnitude and long duration events. The proposed model is presented as a useful tool for water management of medium and large semi-arid rivers, characterized by an active interaction between river and aquifer.

KEYWORDS: Water resources, semiarid, computational model, aquifer

INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a vida em nosso planeta, seu ciclo é renovável, porém lento, o que a torna um recurso escasso em algumas regiões como no semiárido. Além deste fato, o ciclo da água envolve grandes quantidades de energia, com potencial para causar grandes catástrofes, como enchentes e processos erosivos, o que complementa a necessidade de quantificação. A compreensão e a consequente reprodução destes processos físicos matematicamente, utilizando

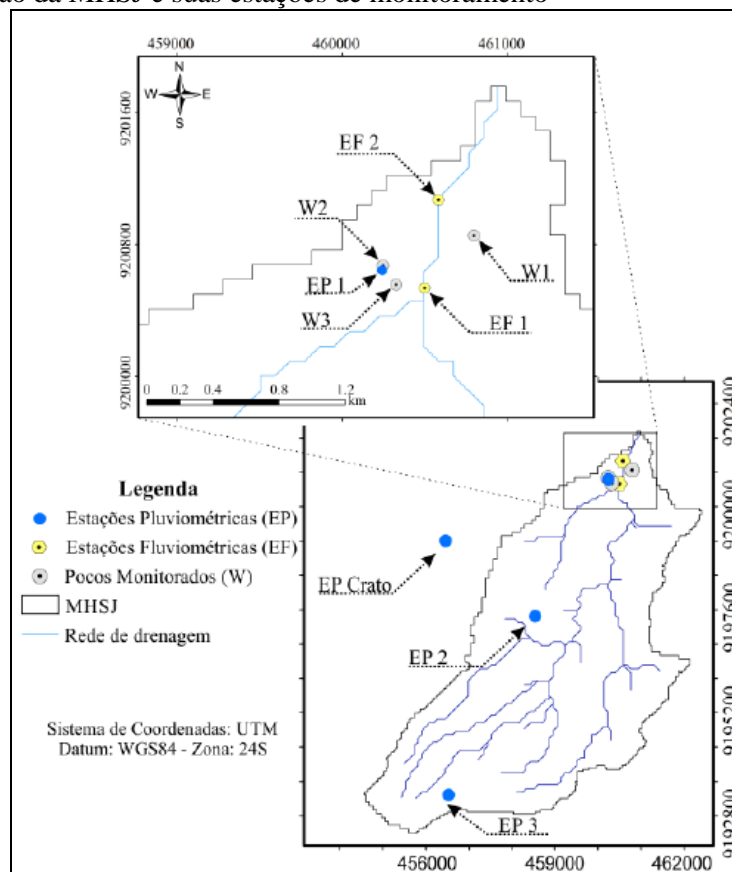
modelos computacionais, é de extrema importância para a gestão dos recursos hídricos, pois permite estimar de forma bastante aproximada, a quantidade de água existente em rios e aquíferos.

Este trabalho busca apresentar um modelo computacional capaz de reproduzir eventos de rios em bacias semiáridas com uma quantidade mínima de parâmetros, facilitando a sua utilização e aplicação.

MATERIAL E MÉTODOS

O modelo foi aplicado em duas áreas de estudo, a primeira é a Microbacia Hidrográfica do São José (MHSJ), situada na região metropolitana do cariri cearense, abrangendo áreas dos municípios de Barbalha, Crato e Juazeiro do Norte. A microbacia pertence a sub-bacia do Salgado, possui área de 40 km² e é composta por aquíferos aluvionares localizados sobre formações areníticas. O clima predominante é o Tropical Quente Semiárido Brando com precipitação anual média acima de 800 mm (FONTENELE, 2015). O rio principal possui comprimento de 13,7 km e nele foram instaladas duas estações fluviométricas, distanciadas de aproximadamente 700 m. O nível freático do aquífero aluvionar foi monitorado em três poços escavados (cacimbas), situados próximos ao trecho do rio estudado. As cargas hidráulicas nas seções fluviométricas e o nível freático do aquífero foram monitorados por sensores de pressão do tipo *Hobo U20 water level* (Onset®) (Figura 1).

Figura 1. Localização da MHSJ e suas estações de monitoramento



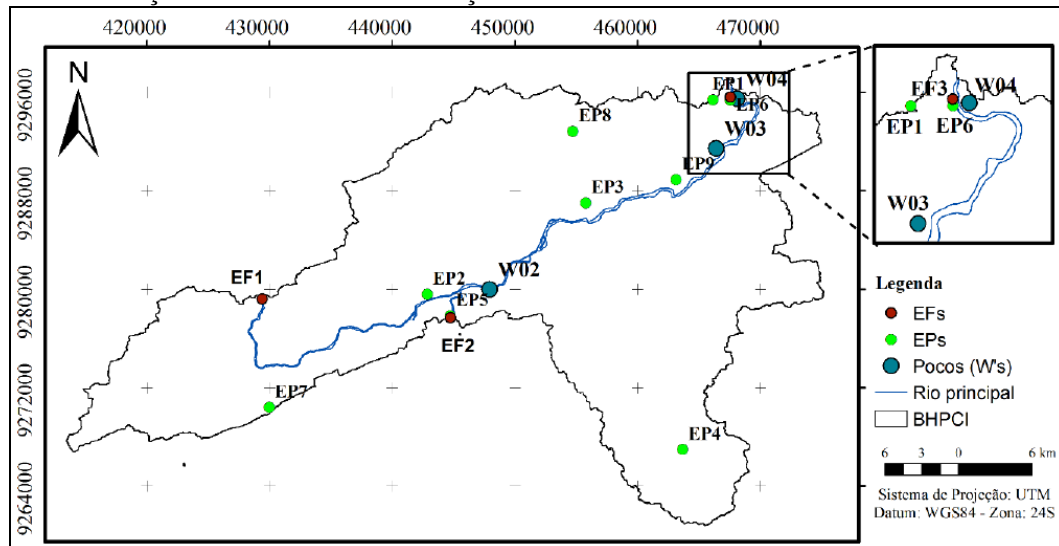
FONTE: FONTENELE (2015, p. 53)

A segunda área de estudo foi a Sub-bacia Hidrográfica Patos/Cariús/Iguatu (SBHPCI), situada no alto sertão nordestino, com precipitação anual entre 400 e 800 mm (LANDIM, 2014). Na sub-bacia definiu-se um trecho do rio Jaguaribe de 60 km, com estações fluviométricas instaladas à montante e à jusante, constituídas de réguas limnimétricas, com monitoramento diário das cargas hidráulicas realizadas por órgãos governamentais (CPRM e ANA) (Figura 2). As vazões foram obtidas a partir das respectivas curvas-chave e estão disponíveis no sistema *hidroweb* da ANA. Nesta área a calha do rio

encontra-se sobre depósitos aluvionares, sobre rochas do embasamento pré-cambriano, de aproximadamente 25 m de espessura.

As seções transversais das estações fluviométricas das duas áreas estudadas foram obtidas por medidas topográficas e as formas das seções foram simplificadas para polígonos conhecidos, dos quais foram obtidas as variações de áreas e perímetros molhados. Os dados topográficos dos trechos do rio utilizados na definição das elevações das seções transversais foram obtidos através de modelos de elevação digital.

Figura 2. Localização da SBHPCI e suas estações de monitoramento



Fonte: FONTENELE (2015, p. 66)

No aspecto computacional o modelo foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação *Fortran*, sendo composto por três módulos de cálculo responsáveis pelos processos hidrológicos de escoamento superficial, infiltração e fluxo subterrâneo. O processo de escoamento superficial baseia-se na discretização, pelo método das diferenças finitas progressivas, da equação de *Saint-Venant* de propagação de onda de cheia. O processo de infiltração baseia-se na equação de Green e Ampt (1911) modificada por Chu e Mariño (2005), considerando as hipóteses de condição de empoçamento variável e taxa de infiltração constante a cada passo de tempo. O processo de fluxo subterrâneo é regido pelos princípios físicos de conservação de energia e de conservação de massa, que juntos à lei de Darcy levam à dedução da equação diferencial parcial para fluxo em aquíferos. Esta equação rege o movimento tridimensional no fluxo subterrâneo de densidade constante, não estacionário, em um meio poroso heterogêneo e anisotrópico (FREEZE e CHERRY, 1979).

O modelo tem como uns de seus parâmetros de entrada a quantidade e o tamanho de passos de tempo. Os demais parâmetros de entrada são: número, comprimento e sinuosidade de trechos do rio, número de camadas de solo, condutividade hidráulica, carga de sucção, porosidade efetiva, umidade residual, número e largura de colunas aquíferas e condutância do leito do rio. As variáveis iniciais necessárias para a alimentação do modelo são: fluxo na seção de montante do trecho modelado, carga hidráulica, área e perímetro molhado de todas as seções definidas. Dados de umidade das camadas de solo e nível freático de águas subterrâneas também são requeridos para o passo de tempo inicial. Para cada passo de tempo o modelo calcula a vazão do rio, considerando a conectividade com o aquífero. Os resultados do modelo são expressos através da vazão nas seções e do nível freático do aquífero em cada passo de tempo.

A validação do modelo é feita considerando o Coeficiente de *Nash-Sutcliffe* (NSE) (NASH, 1970) para as vazões nas seções e o erro médio absoluto de cargas hidráulicas no aquífero. O NSE é recomendado para validação de simulações de processos hidrológicos pela Sociedade Americana de Engenheiros Civis. O NSE varia de $-\infty$ a 1, sendo a unidade o valor ótimo. Valores entre 0,0 e 1,0 são geralmente vistos como níveis aceitáveis de performance, enquanto os menores que 0,0 indicam uma performance inaceitável (MORIASI et al., 2007). Porém, dependendo do nível de precisão desejado ou do processo analisado, o limite inferior aceitável pode ser elevado para 0,5.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo foi parametrizado durante a etapa de calibração, utilizando dados obtidos da literatura, medidos em campo e estimados em ensaios laboratoriais.

Os eventos simulados que apresentaram melhores resultados foram os de maiores vazões de pico ($> 150 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), utilizando maiores intervalos de passos de tempo ($> 43200 \text{ s}$), para eventos de duração superiores a 20 dias, que condiciona um maior esforço computacional. Nesse aspecto seria uma pesquisa relevante tentar determinar um passo de tempo ótimo onde, a partir do qual os ganhos em eficiência teriam menor relevância, equilibrando assim a precisão da simulação com menor esforço computacional, obtendo a máxima eficiência do modelo.

As simulações realizadas para a MHSJ apresentaram oscilações numéricas, provavelmente devido às pequenas vazões de pico ($< 90 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) e a um intervalo de passo de tempo menor (60 s). Para a SBHPCI o modelo apresentou boas respostas para as simulações de eventos de grande magnitude e longa duração, com um NSE superior a 0,30.

CONCLUSÕES

O modelo mostrou-se capaz de simular de forma satisfatória eventos de grande magnitude e longa duração em trechos de rio de comprimentos elevados ($> 5000 \text{ m}$). Eventos deste tipo interferem de forma sensível na dinâmica da interação rio-aquífero. Dessa forma o modelo proposto se apresenta como uma ferramenta útil para a gestão hídrica de rios e aquíferos aluvionares de bacias hidrográficas localizadas em regiões semiáridas, podendo auxiliar na obtenção de hidrogramas utilizados na determinação de cheias de projeto, regularização de rios, além da quantificação de volume hídrico subterrâneo. Além disso o modelo possibilita o entendimento da dinâmica da água entre rio e aquífero.

REFERÊNCIAS

- CHOW, V. T. MAIDMENT, D. R. MAYS, L. W. Applied Hydrology. McGraw-Hill International Editions . New York, 1976.
- CHU, X., MARIÑO, M. A., Determination of ponding condition and infiltration into layered soils under unsteady rainfall. Journal of Hydrology. Vol. 313, p. 195-207, 2005.
- COSTA, A. C. Analyzing and Modelling of Flow Transmission Processes in River Systems with a Focus on Semi-Arid Conditions. Tese de Doutorado. Departamento de Hidrologia e climatologia, Universidade de Potsdam, Potsdam-Germany, 2012.
- FREEZE, R. A., CHERRY, J. A. Groundwater. New Jersey. Prentice Hall, 1979, 603p.
- FONTENELE, S. B. Trocas Hídricas entre Rio e Aquífero em Regiões do Semiárido Hidrogeologicamente Distintas. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2015.
- GREEN, W. H. AMPT, G. A. Studies on soils physics: Flow of water and air through soils. Journal of Agricultural Science. Vol. 4, p. 1-24, 1911.
- LANDIM, R. B. T. V. Uso do Modelo Dryrios na Simulação de Trocas Hídricas entre um Trecho do Rio Jaguaribe e o Aquífero Aluvionar na Bacia Hidrográfica Patos/ Cariús/ Iguatu – Ceará. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2015.
- NASH, J. SUTCLIFFE, I. V.; River Flow Forecasting Through Conceptual Models Part I – A Discussion of Principles. Journal of Hydrology. Vol. 10, p. 282-290, 1970.
- MORIASI, D. N., et al. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. American Society of Agricultural and Biological Engineers. Vol. 50, p. 885-900, 2007.
- WROBEL, L. C., et al. Métodos Numéricos em Recursos Hídricos. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Rio de Janeiro, 1989.