



Calibração do modelo hidrodinâmico MIKE 11 para a sub-bacia hidrográfica do rio Piauitinga, Sergipe, Brasil (doi:10.4136/ambi-agua.162)

Ariovaldo Antonio Tadeu Lucas¹; Antenor de Oliveira Aguiar Netto¹; Marcos Vinicius Folegatti²; Robério Anastácio Ferreira³

¹Departamento de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal de Sergipe - UFS

E-mail: aatlucas@ufs.br; antenor.ufs@gmail.com

²Departamento de Engenharia de Biosistemas, Universidade de São Paulo - LEB - ESALQ - USP

E-mail: mvfolega@esalq.usp.br

³Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Sergipe - UFS

E-mail: raf@ufs.br

RESUMO

Os impactos na sub-bacia do rio Piauitinga ocorrem principalmente a partir da ação antrópica, com a retirada da vegetação na área das nascentes; captação e utilização inadequada das suas águas; má utilização com atividades domésticas; assoreamento e retirada de areia e contaminação por despejos de resíduos domésticos, industriais e agrícolas. O presente trabalho apresenta a calibração do modelo hidrodinâmico MIKE 11, unidimensional, que simula a descarga em estuários, rios, sistemas de irrigação, canais e outros corpos d'água. O objetivo deste trabalho foi ajustar o modelo MIKE 11 para os dados de vazão disponíveis nessa sub-bacia. Foram utilizados dados de 1994 a 1995 para a calibração do modelo e dados de 1996 a 2006 para o período de validação, exceto para o ano de 1997 porque não havia dados disponíveis. O principal parâmetro utilizado para calibrar a descarga no rio Piauitinga foi o coeficiente de rugosidade de Manning, sendo os outros parâmetros o balanço de calor, a estratificação da coluna de água e a percolação profunda. Os resultados obtidos mostraram que houve um bom desempenho do modelo calibrado para a sub-bacia do rio Piauitinga, pois o coeficiente de eficiência foi de 0,9 para ambos os períodos. Isso demonstra que o modelo ajustado pode ser utilizado para a estimativa da quantidade de água na sub-bacia do rio Piauitinga.

Palavras-chave: modelagem hidrológica; vazão; recursos hídricos.

Calibration of hydrodynamic model MIKE 11 for the sub-basin of the Piauitinga river, Sergipe, Brazil

ABSTRACT

In Piauitinga river sub-basin the environment has been suffering from negative actions by humans such as deforestation around springs, inadequate use of the uptaken water, inappropriate use in domestic activities, siltation and sand exploitation, and contamination by domestic, industrial and agricultural residuals. The present study presents the one-dimensional hydrodynamic MIKE 11 model calibration that simulates the water flow in estuary, rivers, irrigation systems, channels and other water bodies. The aim of this work was to fit the MIKE 11 model to available discharge data for this sub-basin. Data from the period of 1994 to 1995 were used for calibration and data from 1996 to 2006 for validation, except the 1997 year, from which data were not available. Manning's roughness coefficient was the main parameter used for the Piauitinga river sub-basin discharge calibration and other parameters were heat balance, water stratification and groundwater leakage. Results showed

that the model had an excellent performance for the Piauitinga basin and had an efficiency coefficient of 0.9 for both periods. This demonstrates that this model can be used to estimate the water quantity in Piauitinga river sub-basin.

Keywords: hydrologic modeling; water flow; water resources.

1. INTRODUÇÃO

O Estado de Sergipe, apesar de sua extensão territorial (menor Estado da federação), possui grande riqueza de recursos naturais, a exemplo destes, os recursos hídricos. No entanto, seu histórico de ocupação e exploração dos recursos naturais ocasionou sérios danos ambientais, tendo como uma das principais consequências o comprometimento do abastecimento de água para o consumo humano. Nesse sentido, a necessidade de se realizar estudos que visem caracterizar e identificar os problemas ambientais no Estado de Sergipe é de grande importância para dar suporte a ações de recuperação e preservação dos recursos naturais, principalmente pela carência de dados disponíveis (Santos, 2009).

Os modelos hidrológicos são úteis nos estudos ambientais, pois permitem planejar sistemas de irrigação eficientes no uso da água, solucionar conflito de usos da água, avaliar efeito da mudança no uso da terra, e na avaliação das águas subterrânea e superficial qualitativa e quantitativamente. Vários modelos foram desenvolvidos nos últimos anos para dar suporte para o uso da água, do solo e das florestas na busca da exploração sustentável dos recursos naturais. Dessa forma, vários autores como Santos e Kobiyama (2008), Machado (2002), Santos e Silva (2007) usaram modelos para avaliar e auxiliar o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos com os modelos TOPMODEL, SWAT e AÇUMOD, respectivamente.

Devido às dificuldades que a sociedade enfrenta decorrente dos problemas ambientais, segundo Borah e Bera (2004) faz-se necessário entender os processos naturais para conduzir esses problemas, os quais têm sido um contínuo desafio para cientistas e engenheiros. De acordo com os autores os modelos matemáticos simulam e simplificam esses complexos processos e são ferramentas úteis para analisar e compreender os problemas e encontrar soluções através de mudanças no uso do solo e melhores práticas de manejo. Modelos hidrológicos e de poluição não pontuais, também são ferramentas úteis na avaliação das condições ambientais de uma bacia hidrográfica e das boas práticas de manejo que podem auxiliar na redução dos efeitos negativos do escoamento superficial nos corpos hídricos. Também é importante o entendimento do modelo para uso apropriado evitando possíveis erros de uso. Os modelos devem ser testados em várias bacias antes de usá-los na tomada de decisão.

A degradação ambiental e os problemas com os recursos hídricos também fazem parte do cotidiano da sub-bacia hidrográfica do rio Piauitinga, que é responsável pelo abastecimento de água de vários municípios do Estado de Sergipe, sendo a única da região com baixo teor de salinidade nas suas águas. Apesar dessa importância, é evidente o desrespeito à legislação ambiental federal, com muitas áreas de preservação permanente sofrendo os efeitos da retirada da vegetação nativa. No caso específico de suas nascentes, é marcante o grau de degradação destas provocando e/ou, potencializado por práticas locais, como agricultura e a construção de pequenas represas pelas comunidades para o uso doméstico da água. Dentro dessa perspectiva os modelos são ferramentas importantes para dar suporte a tomada de decisão no planejamento de recursos hídricos para solucionar problemas de uso da água e ambientais nas bacias hidrográficas.

Considerando que as atividades antrópicas são desenvolvidas dentro da bacia hidrográfica e suas consequências são refletidas dentro desta constata-se que o uso de modelos é muito apropriado na avaliação hidrológica e ambiental do solo e da água no

contexto de bacias hidrográficas. Assim o presente trabalho teve como objetivo ajustar o modelo hidrodinâmico MIKE 11 para a vazão da sub-bacia do rio Piauítinga.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Descrição da área

O Estado de Sergipe, constituído por 75 municípios em 22.050,3 km² de área, possui seis bacias hidrográficas e apresenta realidades distintas quanto aos recursos hídricos. Todas as bacias hidrográficas do Estado apresentam zonas com clima do semiárido, do agreste (área de transição) e do litoral. Essa diversidade climática acarreta diferentes condições de armazenamento de seus recursos hídricos.

A sub-bacia hidrográfica do rio Piauítinga (Figura 1) localiza-se na região centro-sul do Estado de Sergipe e é responsável pelo abastecimento de água dos municípios de Estância, Salgado, Lagarto e Boquim (Moreira, 2008). Pertence à bacia hidrográfica do rio Piauí, apresenta área total de 418,2 km², cujo leito principal é perene em extensão de 53 km, com vazão média de 22,92 m³ s⁻¹.

O clima da região é classificado como Megatérmico Subúmido, segundo a classificação de Thornthwaite e Mather (1955), conforme resultados obtidos por Fontes e Santos (1999). A temperatura média anual é de 28°C, variando entre 22,3°C, para os meses mais chuvosos e frios (julho a agosto), e 26°C para o período mais seco e quente (dezembro a março). De acordo com dados de Sergipe (2004), o valor médio anual da precipitação para o período de 1985 a 2005 foi de 1182,8 mm.

A qualidade da água é boa e com baixo teor de sais, sendo, inclusive, utilizada para abastecer uma população de aproximadamente 10% do total de Sergipe. Além dos municípios componentes da sub-bacia hidrográfica (Lagarto, Estância, Salgado e Boquim), abastece ainda os municípios de Simão Dias e Riachão do Dantas.

2.2. O modelo MIKE 11

O modelo MIKE 11 (DHI, 2005) foi desenvolvido para simular as variações na descarga e nível da água em rios como resultado da precipitação na bacia hidrográfica e as entradas e saídas através das condições de contorno (fronteiras) do rio. Todos os cálculos que o modelo exige para simular uma previsão são feitos automaticamente utilizando-se um número individual de módulos descritos a seguir.

O processo chuva-vazão pode ser modelado usando NAM módulo ou UHM, ambos podem ser usados independentes de MIKE 11 ou a vazão simulada na bacia pode ser usada diretamente como fluxo lateral de entrada para um rio ou rede de canais. Esse módulo calcula a precipitação média de uma precipitação pontual em um número de sub-bacias dentro da área do modelo. Essa precipitação média é usada como saída do módulo chuva-vazão (Havno et al., 1995).

O módulo chuva-vazão é um modelo determinístico, conceitual e simples representando a fase terrestre do ciclo hidrológico. É definido como determinístico, conceitual e concentrado. A simulação do processo chuva-vazão ocorre continuamente considerando a umidade do solo e sua inter-relação entre os armazenamentos intermediário e subterrâneo. A precipitação média e a evaporação são usadas como entrada para o modelo e calcula o fluxo de entrada de água para o rio (Jørgensen e Høst-Madsen, 1997).

O módulo hidrodinâmico contém cálculos da diferença finita implícita de fluxos dinâmicos nos rios baseado na equação de Saint Venant, descrita a seguir. Esse módulo pode ser aplicado em redes hidrográficas das bacias para simulação bidimensional da descarga. A saída do módulo chuva-vazão serve como fluxo de entrada lateral e adicionalmente um fluxo de água de fontes externas é calculado, assim o módulo hidrodinâmico prevê a altura e a entrada de água no reservatório (Jørgensen e Høst-Madsen, 1997).

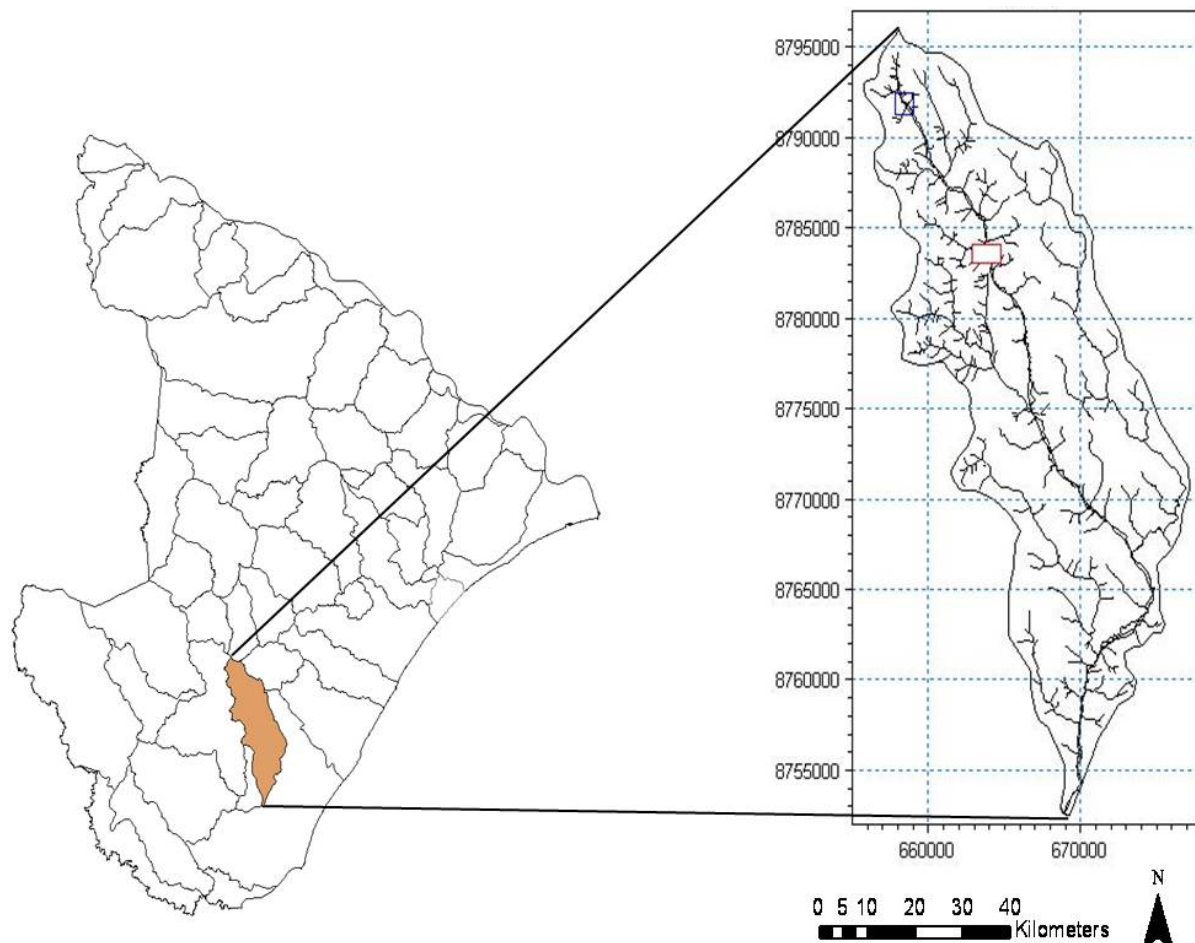


Figura 1. Localização da sub-bacia hidrográfica do rio Piauítinga no Estado de Sergipe (Sergipe, 2004).

As equações (1) e (2), conservação de massa e conservação da quantidade de movimento, respectivamente, são conhecidas como equações de Saint-Venant. Para uma abordagem unidimensional essas equações podem ser descritas pelas seguintes relações matemáticas:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + u \frac{\partial h}{\partial x} + h \frac{\partial u}{\partial x} = 0 \quad [1]$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial y} = g(S_0 - S_f) \quad [2]$$

em que:

t = variável independente relativa ao tempo (s);

x = variável independente relativa à direção do escoamento (m);

u = velocidade média do escoamento (m s^{-1});

g = aceleração da gravidade (m s^{-2});

h = espessura da lâmina líquida (m);

S_0 = declividade média da calha fluvial ou do fundo do canal (m m^{-1}); e

S_f = declividade da linha de energia (m m^{-1}).

2.3. Calibração do modelo

A calibração do modelo físico-distribuído implica que as simulações são executadas e os resultados são comparados com os dados medidos. O procedimento de calibração adotado foi baseado na tentativa e erro, o que implica que o usuário do modelo entre uma simulação e outra faz ajustes nos valores dos parâmetros dentro de um limite real. Tal procedimento manual acrescenta um grau de subjetividade aos resultados. No entanto, dada a modelagem ser um processo complexo e integrado, centrado em uma variedade de resultados de saída o ajuste automático é dificultado sendo a tentativa e erro o meio mais viável na prática (Refsgaard et al., 1998).

A configuração do modelo MIKE 11 para a sub-bacia hidrográfica do rio Piauitinga foi realizada no curso principal na área de contribuição da bacia acima da seção de medição da vazão (Figura 2). A condição para modelar a descarga no alto curso do rio Piauitinga foi a disponibilidade de dados de vazão medidos e disponíveis para o período de 1994 até 2006. Os dados usados para a calibração foram dos anos de 1994 e 1995, enquanto que a validação do modelo calibrado foi realizada com os dados dos anos de 1996 até 2006. Porém os dados utilizados foram medidas mensais feitas de duas a três vezes.

O principal parâmetro utilizado para calibrar a descarga no rio Piauitinga foi o coeficiente de rugosidade de Manning. Outros parâmetros como: balanço de calor, estratificação da coluna de água e percolação profunda.

Bons resultados do modelo durante o processo de calibração não assegura automaticamente que o modelo tenha um desempenho igualmente bom para outros períodos de tempo, porque o processo de calibração envolve a manipulação de alguns valores de parâmetro. Portanto, as validações do modelo baseado em conjuntos de dados independentes são necessárias. Na medida do possível, limitada pela disponibilidade de dados, os modelos validados demonstram a capacidade de reproduzir os dados medidos para um período fora do período de calibração (Refsgaard et al., 1998).

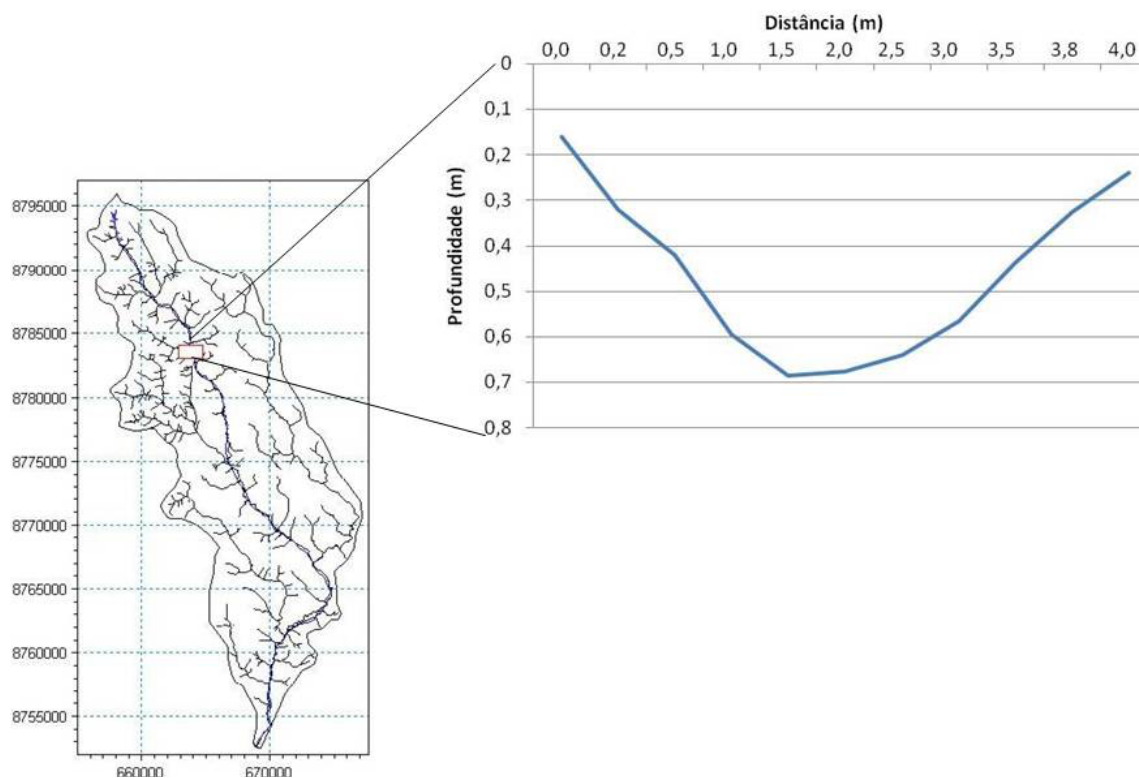


Figura 2. Seção de medição da vazão do rio Piauitinga.

A avaliação do desempenho do modelo para o período calibrado e validado foi feito por meio de expressões recomendadas por alguns autores como: Vásquez e Feyen (2003), Loague e Green (1991), Sonnenborg (2003) e o coeficiente de Nash e Sutcliffe (1970) recomendado pela Sociedade Americana de Engenheiros Civis (ASCE, 1993). A seguir são apresentadas as equações utilizadas na avaliação do modelo MIKE 11 para a sub-bacia do rio Piauítinga.

(a) Erro Médio Absoluto:

$$EMA = \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - S_i|}{n} \quad [3]$$

(b) Coeficiente de eficiência (COE) de Nash e Sutcliffe (1970):

$$COE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad [4]$$

(c) Coeficiente de Pearson:

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}} \right]^2 \quad [5]$$

em que;

O_i – enésimo valor da descarga observada;

\bar{O} - média dos valores da descarga observada;

S_i – enésimo valor simulado;

\bar{S} – média dos valores simulados;

n – número de observações.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os valores finais dos parâmetros calibrados: coeficiente de rugosidade Manning, estratificação da coluna de água e percolação profunda que contribuí com a recarga subterrânea, ajustados para a área estudada. Esses parâmetros foram ajustados pelo procedimento de tentativa e erro até a obtenção de uma simulação satisfatória para a sub-bacia do rio Piauítinga.

Como pode ser observado, o coeficiente de Manning variou de 0,025 até 0,05s m^{-1/3}. Esse parâmetro é o mais utilizado na calibração do modelo Mike 11 e Mike SHE como é recomendado por DHI (2005) e usados por autores como Thompson et al. (2004), Henriksen et al., (2003), Madsen (2003), Jayatilaka et al. (1998) e Xevi et al. (1997). O valor de 0,033 s m^{-1/3} proporcionou o melhor desempenho do modelo, enquanto que os demais parâmetros não tiveram influência significativa no ajuste do modelo.

Tabela 1. Valores finais dos parâmetros calibrados.

Parâmetros	Amplitude Valores tentativas	Valor Calibrado
Coefficiente de Manning	0,025 - 0,05s m ^{-1/3}	0,033s m ^{-1/3}
Percolação profunda	0 – 0,005L s ⁻¹	0,00001L s ⁻¹
Estratificação da coluna d'água	0 -1m	1,0m

A Tabela 2 apresenta os valores finais dos indicadores de desempenho do modelo ajustado para a sub-bacia do rio Piauitinga. Os indicadores de avaliação do desempenho mostram que o modelo foi bem calibrado, apresentando um excelente desempenho de acordo com o coeficiente de eficiência, igual a 0,97 (Tabela 2) e desempenho muito bom de acordo com o erro médio absoluto e coeficiente de Pearson, 0,10 e 0,99, respectivamente. O mesmo desempenho foi observado para o período de validação do modelo, que também teve um excelente desempenho, como pode ser visto na Tabela 2, os valores finais obtidos para os coeficientes de eficiência e Pearson e o erro médio absoluto.

Tabela 2. Valores finais obtidos para os indicadores de desempenho de modelos para os períodos de calibração e validação.

Indicadores de desempenho	Período de calibração	Período de validação
EMA	0,010	0,004
Nash-Sutcliffe (COE)	0,977	0,999
Pearson	0,990	0,999

Diversos estudos realizados com modelos hidrológicos mostram que o coeficiente de eficiência é amplamente utilizado para modelagem dos componentes do ciclo hidrológico em bacias hidrográficas de tamanhos diferentes. Singh et al. (1999) obteve um desempenho aceitável do modelo MIKE SHE no estudo da modelagem hidrológica de uma pequena bacia hidrográfica com o objetivo de planejamento da irrigação, com um COE de 0,68.

Andersen et al. (2001) estudaram a construção e a validação de um modelo hidrológico para a bacia do rio Senegal e obtiveram valores de COE variando de 0,69 a 0,9. Isso demonstra que os resultados obtidos com o modelo MIKE 11 para a sub-bacia hidrográfica do rio Piauitinga está de acordo com outros trabalhos realizados em diferentes locais e está coerente com a literatura, pois apresentou um bom ajuste dos dados disponíveis, tanto para o período de calibração quanto para o período de validação.

O modelo AÇUMOD é muito utilizado na região Nordeste, principalmente na Paraíba, onde foi desenvolvido, e os resultados têm mostrado que esse modelo hidrológico auxilia o planejamento e o gerenciamento dos recursos hídricos como mostram os trabalhos de Santos e Silva (2007) e Silans et al. (2000), que trabalharam com o modelo AÇUMOD para bacias dos Estados de Pernambuco e Paraíba, respectivamente, para fins de gestão de recursos hídricos, regiões onde a escassez de água é um desafio para o desenvolvimento. No entanto, esse tipo de estudo ainda é insuficiente para a região devido à falta de monitoramento de dados hidrológicos. No Estado de Sergipe a situação não é diferente, há falta de dados com periodicidade de vazão e cota de água para o estabelecimento de curvas chaves, as quais podem ser modeladas com o MIKE 11 e gerar informações para a tomada de decisão no fornecimento da água para os usos múltiplos na sub-bacia do rio Piauitinga.

As Figuras 3A e 3B mostram a correlação entre os dados de vazões observadas e simuladas com o modelo hidrodinâmico MIKE 11. Percebe-se que a calibração teve um ajuste muito bom entre os valores observados e simulados de acordo com os parâmetros de avaliação utilizados. Isso evidencia que o uso de estações fluviométricas bem ajustadas

fornece dados confiáveis para serem utilizados em modelos hidrológicos, visto que dados de baixa qualidade e com falhas na série histórica são um entrave no uso da modelagem de forma mais rotineira. Nas Figuras 4A e 4B, observam-se as vazões acumuladas medidas e simuladas com o valor máximo de 3,28 e 3,14 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$, respectivamente, para o período de calibração, enquanto que para o período de validação os valores foram 39, 42 e 39,45 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$.

O modelo MIKE 11 calibrado e validado para a sub-bacia do rio Piauítinga tem um potencial muito bom para auxiliar o planejamento e a tomada de decisão na alocação da água, porque a degradação da qualidade da água e a redução da disponibilidade prejudicam o desenvolvimento econômico da região. Outra importância do modelo ajustado para a sub-bacia rio Piauítinga é sua aplicabilidade em condições brasileiras, pois o modelo MIKE 11 foi desenvolvido na Europa e tem sido pouco utilizado no país.

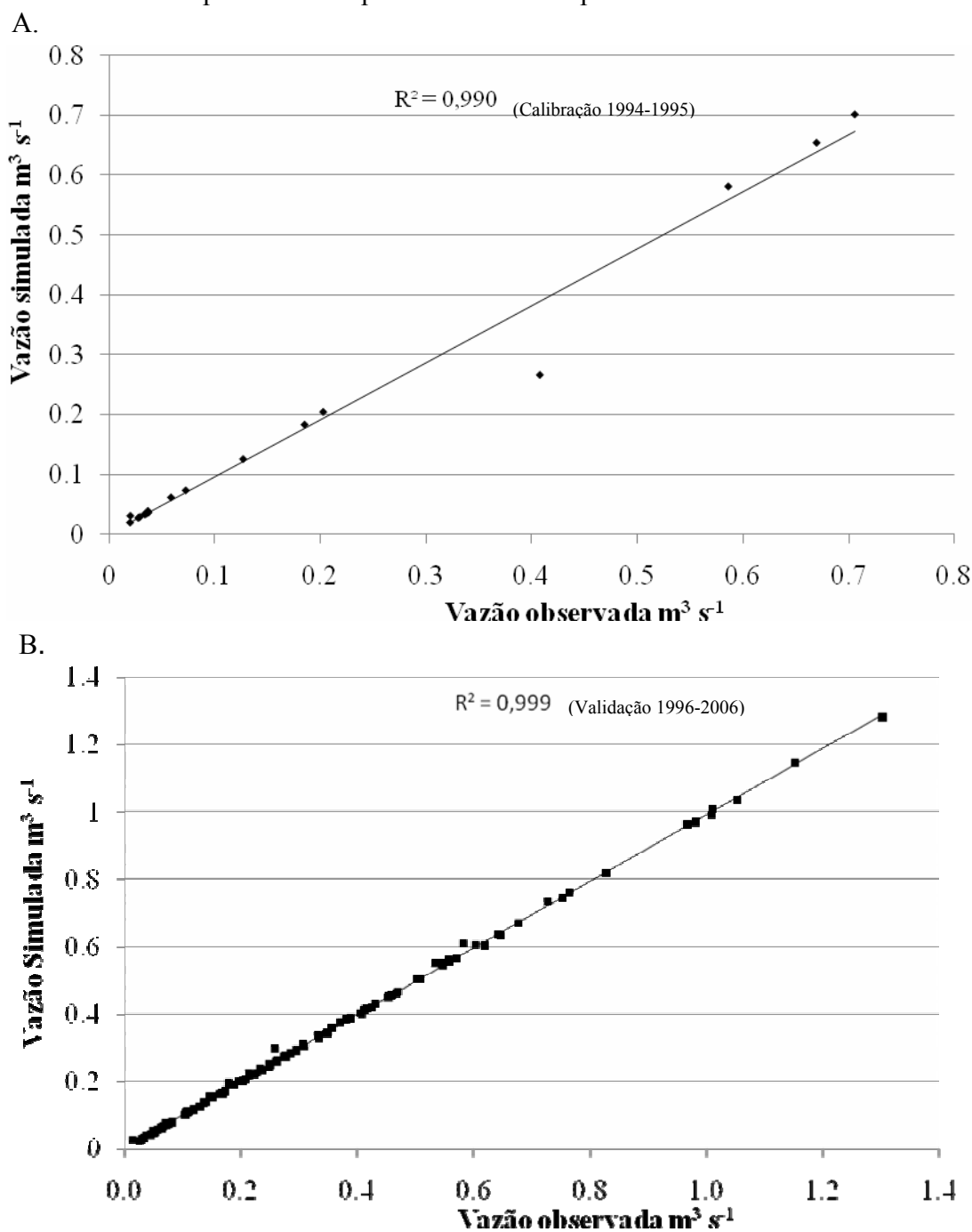


Figura 3. Dispersão entre os dados mensais de vazão observados e simulados: (A) calibração, e (B) validação.

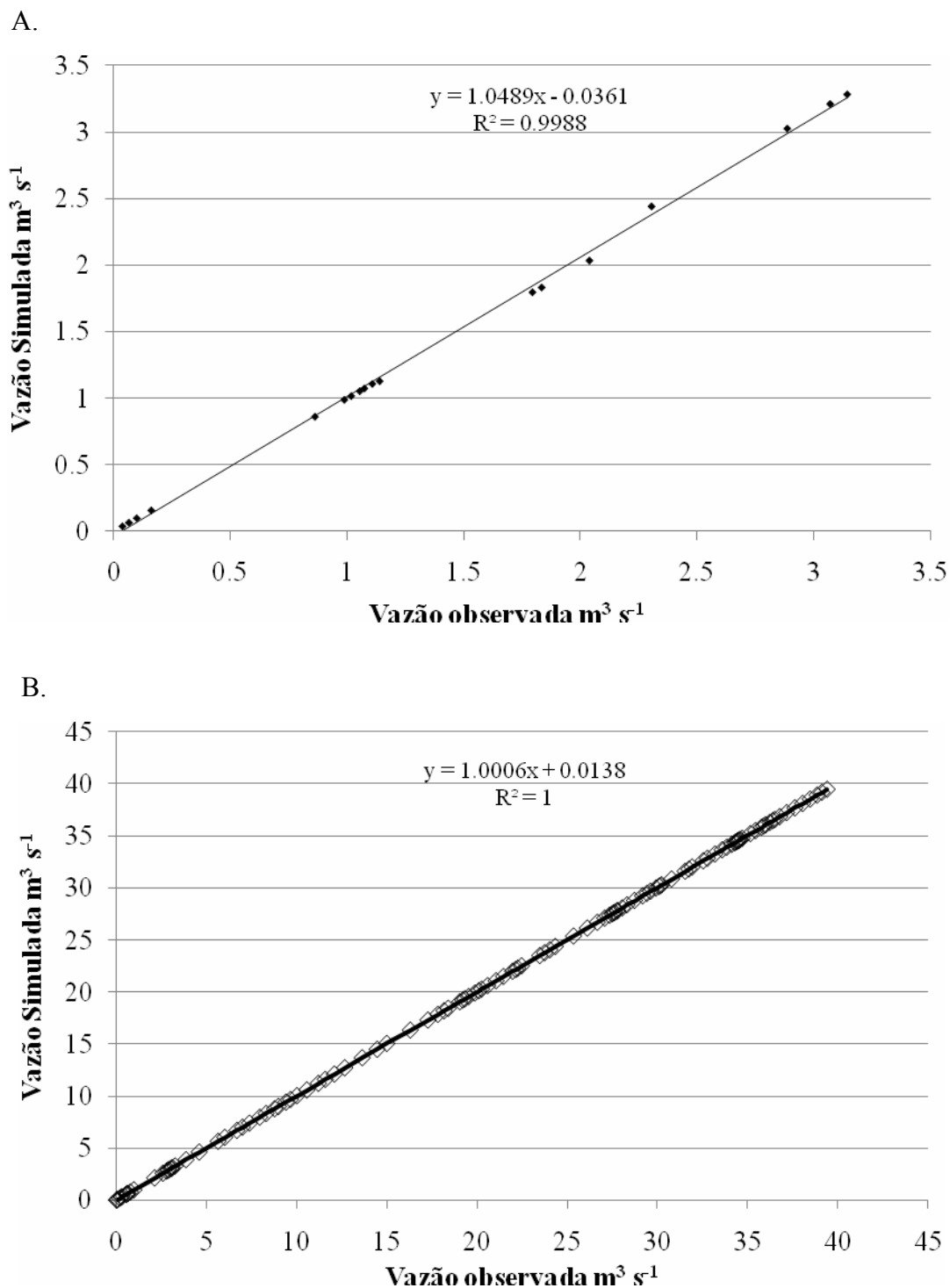


Figura 4. Vazões observadas e simuladas acumuladas no tempo: (A) calibração, e (B) validação.

Nas Figuras 5A e 5B pode-se observar que o pico do hidrograma para o período de calibração foi de $0,702 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ocorrido no dia 11 de julho de 1994 para o valor simulado e $0,705$ para o valor observado (erro relativo de 0,49%), enquanto que, no período de validação, o pico de vazão aconteceu no dia 21 de setembro de 2000 de $1,282 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para o valor simulado e $1,30 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para o valor observado com um erro relativo de 1,4%, porém dentro do aceitável para modelos hidrológicos. O desafio mais importante na modelagem está na coleta de dados suficientes para aplicação de modelos com consistência.

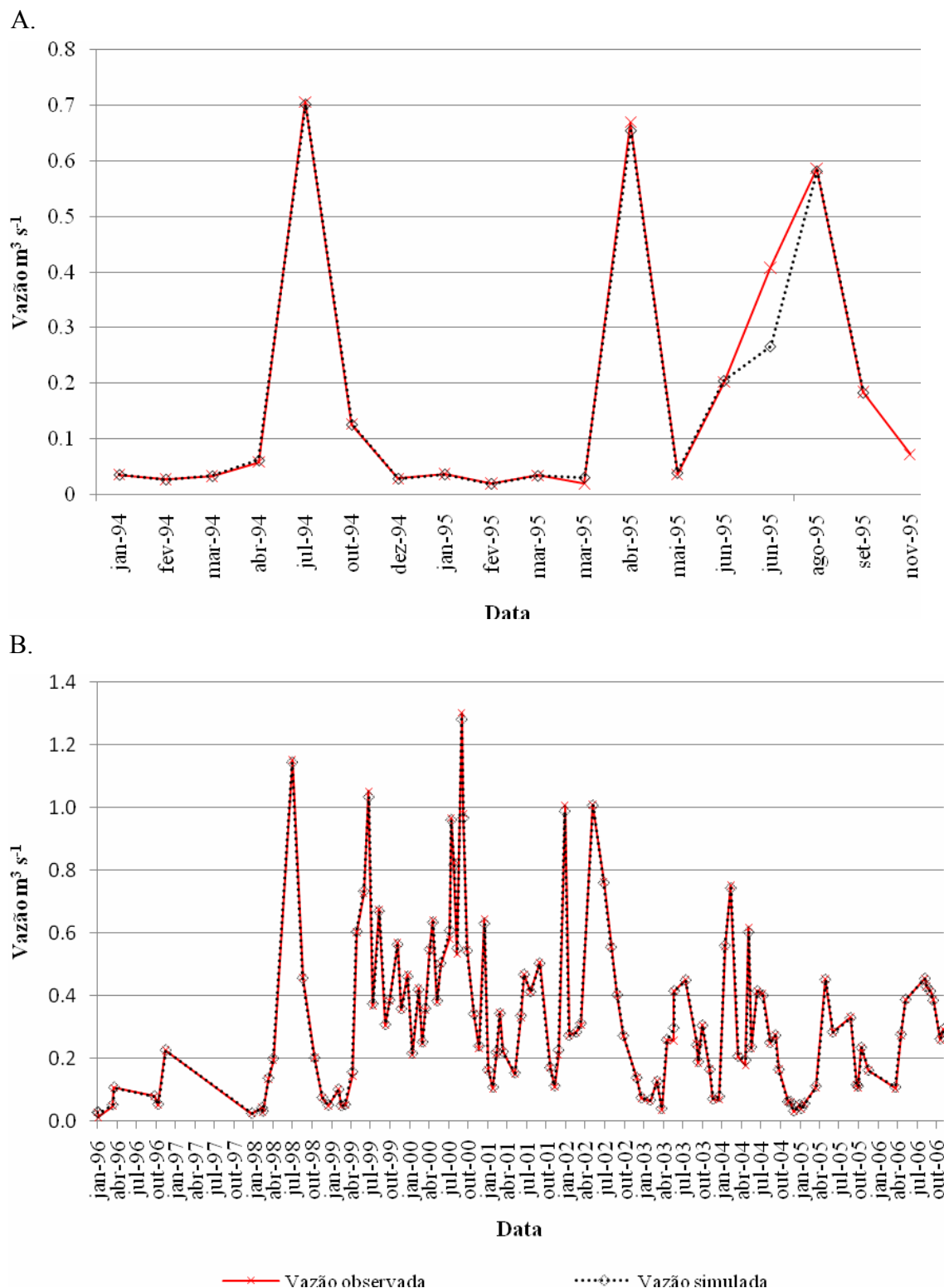


Figura 5. Hidrograma de vazões observadas e calculadas para os períodos de (A) calibração e (B) validação.

4. CONCLUSÃO

O resultado obtido com a calibração do modelo hidrodinâmico MIKE 11 para a sub-bacia do rio Piauítinga permitiu concluir que: este pode ser utilizado em estudos hidrológicos e ambientais na sub-bacia do rio Piauítinga; esse modelo tem potencial para ser utilizado no planejamento dos recursos hídricos da sub-bacia, alocando-os de acordo com os usos múltiplos da água.

5. AGRADECIMENTOS

À Fundação de Apoio à Pesquisa e à Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe-FAPITEC/SE, pelo financiamento do projeto e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão da bolsa de Desenvolvimento Científico e Tecnológico Regional ao primeiro autor.

6. REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. Task committee on definition of criteria for evaluation of watershed models of the watershed committee, irrigation and drainage division. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 119, n. 3, p. 429-442, 1993.
- ANDERSEN, J.; REFSGAARD, J. C.; JENSEN, K. H. Distributed hydrological modelling of Senegal river basin – model construction and validation. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, n. 247, p. 200-214, 2001.
- BORAH, D. K.; BERA, M. Watershed-scale hydrologic and nonpoint-source pollution models: review of applications. **Transactions of the ASAE**, v. 47, n. 3, p. 789-803, 2004.
- DANISH HYDRAULIC INSTITUTE. **MIKE 11**– a modelling system for rivers and channels. Horsholm: Danish Hydraulic Institute, 2005. 454p.
- FONTES, A. L.; SANTOS, A. F. **Diagnóstico ambiental preliminar na sub-bacia do rio Piauítinga (SE)**. 1999. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Núcleo de Pós-Graduação em Geografia (NPGeo), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 1999.
- HENRIKSEN, H. J.; TROLDBORG, L.; NYEGAARD, P. Methodology for construction, calibration and validation of a national hydrology model for Denmark. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, n. 280, p. 52-71, 2003.
- JAYATILAKA, C. J.; STORM, B.; MUDGWAY, L. B. Simulation of water flow on irrigation bay scale with MIKE-SHE. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, n. 208, p. 108-130, 1998.
- JØRGENSEN, G. H.; HØST-MADSEN, J. Development of a flood forecasting system in Bangladesh. In: OPERATIONAL WATER MANAGEMENT CONFERENCE, 3 a 6 set. 1997, Copenhagen. **Proceedings...** Copenhagen: Taylor & Francis Group, 1997.
- HAVNO, K.; MADSEN, M. N.; DORGE, J. Mike 11 – a generalized river modeling package. In: SINGH, V. P. (Ed.). **Computer models of watershed hydrology**. Colorado: Water Resources Publications, 1995. cap. 21, p.733-782.
- LOAGUE, K.; GREEN, R. E. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application. **Journal of Contaminant Hydrology**, Amsterdam, v. 7, p. 51-73, 1991.
- MACHADO, R. E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. 2002. 154f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

- MADSEN, H. Parameter estimation in distributed hydrology catchment modelling using automatic calibration with multiple objectives. **Advances in Water Resources**, Southampton, n. 26, p. 205-216, 2003.
- MOREIRA, F. D. **Geotecnologia aplicada à sub-bacia hidrográfica do rio Piauítinga e suas relações ambientais**. 2008. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Núcleo de Pós-Graduação em Geografia (NPGeo), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2008.
- NASH, J. E.; SUTCLIFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models, part 1: discussion of principles. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 10, p. 282-290, 1970.
- REFSGAARD, J. C.; SØRENSEN, H. R.; MUCHA, I.; RODAK, D.; HLAVATY, Z.; BANSKY, L. et al. An integrated model for the Danubian lowland – methodology and applications. **Water Resources Management**, Dordrecht, n. 12, p. 433-465, 1998.
- SANTOS, T. I. S. **Estado de conservação e aspectos da vegetação de nascentes do riacho Grilo-SE**. 2009. 83f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2009.
- SANTOS, I.; KOBIYAMA, M. Aplicação do TOPMODEL para determinação de áreas saturadas da bacia do rio Pequeno, São José dos Pinhais, PR, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 3, n. 2, p. 77-89, 2008.
- SANTOS, C. A. G.; SILVA, R. M. Aplicação do modelo hidrológico AÇUMOD baseado em SIG para a gestão de recursos hídricos do rio Pirapama, Pernambuco, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 2, n. 2, p. 7-20, 2007.
- SERGIPE. Secretaria de Estado do Planejamento e da Ciência e Tecnologia. Superintendência de Recursos Hídricos. **Sergipe: atlas digital sobre recursos hídricos**. Sergipe: Superintendência de Recursos Hídricos, 2004. 1 CD-ROM.
- SILANS, A. M. B. P.; ALMEIDA, C. N.; ALBUQUERQUE, D. J. S.; PAIVA, A. E. D. B. Aplicação do modelo hidrológico distribuído AÇUMOD à bacia hidrográfica do rio do PEIXE - Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n.3, p. 5-19, 2000.
- SINGH, R.; SUBRAMANIAN, K.; REFSGAARD, J. C. Hydrological modeling of small watershed using MIKE SHE for irrigation planning. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, n. 41, p. 149-166, 1999.
- SONNENBORG, T. O. Transient modeling of regional groundwater flow using parameter estimates from steady-state automatic calibration. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, n. 273, p. 188-204, 2003.
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton: Drexel Institute of Technology-Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, 8, n. 1).
- THOMPSON, J. R.; REFSTRUP SØRENSEN, H.; GAVIN, H.; REFSGAARD, A. Application of the coupled MIKE SHE/MIKE 11 modeling system to a lowland wet grassland in southeast England. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, n. 293, p. 151–179, 2004.

LUCAS, A. A. T.; NETTO, A. O. A.; FOLEGATTI, M. V.; FERREIRA, R. A. Calibração do modelo hidrodinâmico MIKE 11 para a sub-bacia hidrográfica do rio Piauítinga, Sergipe, Brasil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 5, n. 3, p. 195-207, 2010. ([doi:10.4136/ambi-agua.162](https://doi.org/10.4136/ambi-agua.162))

VÁSQUEZ, R. F.; FEYEN, J. Effect of potential evapotranspiration estimates on effective parameters and performance of the MIKE-SHE code applied to a medium size catchment. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, n. 270, p. 309-327, 2003.

XEVI, E.; CHRISTIAENS, K.; ESPINO, A. Calibration, validation and sensitivity analysis of the MIKE-SHE model using the Neuenkirchen catchment as case study. **Water Resources Management**, Dordrecht, n. 11, p. 219-242, 1997.