

O modelo NAVMO como ferramenta da hidroinformática para simulação hidrológica em grandes bacias no semi-árido da Paraíba

Eduardo E. Figueiredo
Eduardo@dec.ufcg.edu.br

Katiana de Araújo Lima
kat_araujo20@yahoo.com.br

Dayane Carvalho da Costa
dayanne@hotmail.com

Resumo

A Hidroinformática é uma denominação recente dada ao campo de aplicação de tecnologias para tratamento de informações, análises e simulações da quantificação e uso eficiente da água em hidráulica, hidrologia, qualidade de água, gestão, etc. Nesse sentido, os modelos de simulação hidrológica são ferramentas poderosas da hidroinformática, os quais são utilizados para modelar o escoamento em bacias hidrográficas. Neste trabalho, descreve-se a modelagem do escoamento em grandes bacias no semi-árido da Paraíba, realizada com o modelo distribuído NAVMO. Os detalhes da modelagem e resultados são apresentados e discutidos para as bacias do sistema Piranhas-Açu e para a parte do baixo rio Paraíba/PB.

Palavras-chave: *Hidroinformática. Modelo distribuído. Modelagem do escoamento.*

Abstract

Hydroinformatics is a new denomination given to the field of application of technologies to data acquisition, analyses, and simulations to quantify the water use efficiently in Hydraulics, Hydrology, Water Quality, Management, etc. In this sense, the hydrological models are important tools from the field of hydroinformatics, which are utilized to model the runoff at river basins. In this work, the runoff modeling in large river basins in the semiarid of the state of Paraíba was realized with the distributed model NAVMO. Details on the modeling and the results for the Piranhas-Açu, and the lower part of the Paraíba river basins are presented and discussed herein.

Keywords: *Hydroinformatics. Distributed model. Runoff modeling*

1 Introdução

A previsão do escoamento em grandes bacias requer a utilização de modelos distribuídos, capazes de considerar as variabilidades do sistema e dos fatores climáticos, podendo, assim, dar suporte para a quantificação do escoamento em bacias não monitoradas (Hubert *et al.*, 2002). Os modelos de simulação hidrológica são ferramentas da hidroinformática utilizados para gerarem dados (Green e Stephenson, 1986). Podem ser concentrados (tratam a bacia globalmente) ou distribuídos (parâmetros e processos variam espacialmente). Os modelos distribuídos consideram as variabilidades do clima (e.g., precipitação) e da bacia (e.g., solos, relevo, cobertura) através de uma divisão da mesma seja em células retangulares como no modelo SHETRAN (Figueiredo e Bathurst, 2007) ou em sub-bacias como no modelo NAVMO (Figueiredo *et al.*, 1991). Em qualquer caso, é necessário que o modelo seja testado, verificado e validado (e.g., Klemeš, 1986; Figueiredo *et al.*, 2004), para então ser utilizado na simulação de séries de dados.

Nesse sentido, o modelo NAVMO (Figueiredo *et al.*, 2006b) foi utilizado para modelar o escoamento no sistema Piranhas-Açu, inserido nos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, aqui compreendido entre as estações de Sítio Vassouras (14850 km²) e de Sítio Acauã (37600 km²), com área de 22750 km², na parte baixa do rio Paraíba/PB (3925 km²) entre Acauã (16621 km²) e Ponte da Batalha (19244 km²), com área de 2623 km², e na bacia do rio Mamanguape (3523 km²) que inclui a estação de Mulungú (1052 km²) até a estação de Ponte do Leitão (2910 km²). Neste trabalho são apresentados os detalhes da modelagem desses sistemas hidrográficos bem como os resultados obtidos.

2 O modelo NAVMO

O modelo NAVMO é um modelo diário chuva-evaporação-vazão, determinístico, conceitual, distribuído que utiliza a equação do balanço hídrico para transformar a precipitação em escoamento através de dois reservatórios hipotéticos, um superficial e outro sub superficial com capacidades de armazenamento determinadas com base no método CN do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos e uma função de recessão para o escoamento subterrâneo. Requer uma divisão da bacia hidrográfica em sub-bacias bem como dados de precipitação, com as áreas e os postos (precipitação e vazão) orientados geograficamente pelas coordenadas geográficas, evaporação, e as características físicas das sub-bacias (e.g., área, cotas, declividades, características dos solos e dos canais). Contém algoritmos alternativos para determinar a precipitação nas sub-bacias e a propagação do escoamento nos trechos de rios que dependem da divisão da bacia. Apresenta como resultados vazões diárias, vazões máximas e volumes anuais, bem como os valores de algumas funções com objetivos tais como desvios, centróides dos hidrogramas e as diferenças entre as vazões máximas observadas e calculadas. O fluxograma do modelo é mostrado na Figura 1. A Figura 2 mostra o esquema de representação do solo e suas variáveis.

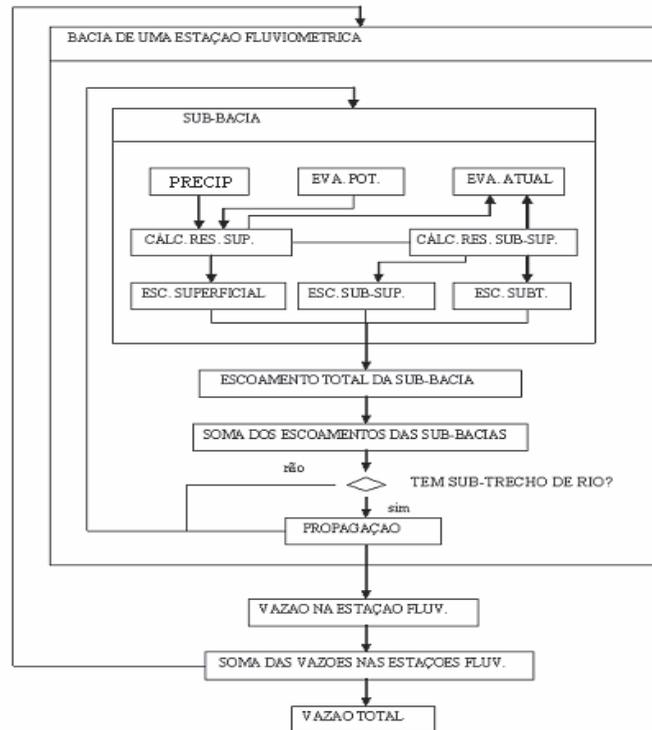


Figura 1: Fluxograma do modelo NAVMO

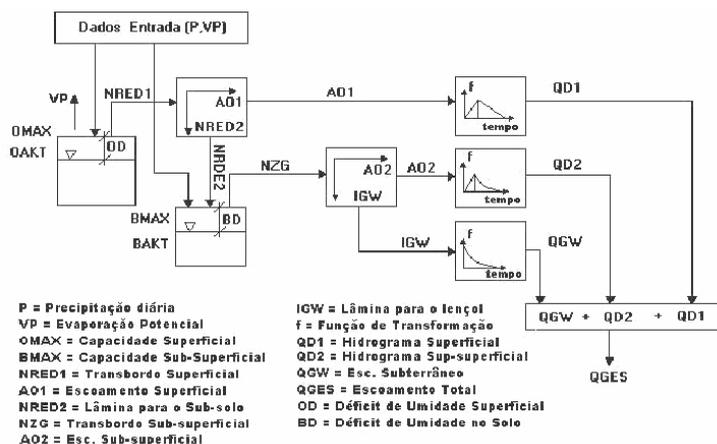


Figura 2: Sistema de reservatórios no modelo NAVMO

3 Áreas de investigação

A bacia do rio Paraíba (Figura 3) está localizada na porção sudeste do Estado da Paraíba, compreendendo as sub-bacias do Baixo, Médio e Alto Paraíba e do Rio Taperoá. A área da bacia do Rio Paraíba, delimitada a partir das cartas digitalizadas da SUDENE em escala 1:100.000, é de 19545 km². As bacias do baixo rio Paraíba e Mamanguape são as áreas de estudo deste trabalho inseridas na bacia do rio Paraíba. A região do baixo curso do rio Paraíba -PB drena uma área de 3925,41 km² e conta com duas estações de vazão: Guarita e Ponte da Batalha. O rio Mamanguape deságua no Oceano Atlântico na Cidade de Rio Tinto, drenando uma área de 3522,69 km² e conta com duas estações de vazão: Mulungú e Ponte do Leitão. As características climáticas e físicas são bem definidas, com temperatura média de 25°C, evaporação potencial acima de 2000 mm, precipitação média de 1800 mm e relevo variando de ondulado, após a serra da Borborema, até suave próximo ao litoral, solo predominante do tipo vermelho podzólico, vermelho amarelo e vegetação de mata atlântica.

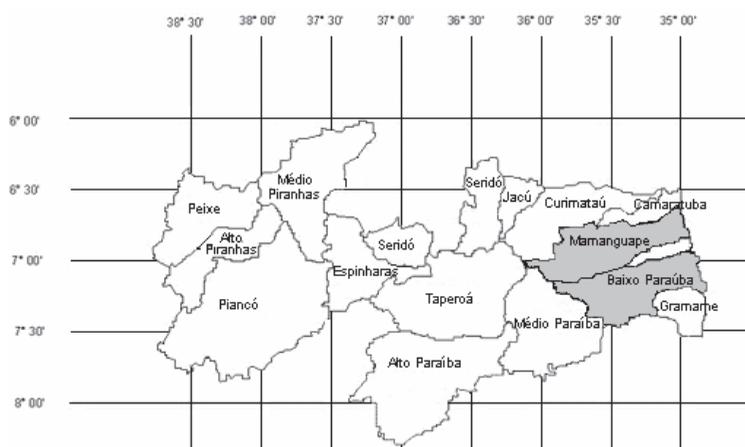


Figura 3: Bacias do baixo rio Paraíba e Mamanguape

A bacia hidrográfica Piranhas-Açu (Figura 4) possui uma área total de drenagem de 43681,5 Km², sendo 26183 Km², da bacia no Estado da Paraíba e 17498,5 Km² na bacia do Estado do Rio Grande do Norte. O rio é denominado Piranhas, no Estado da Paraíba e, após cruzar a fronteira com o estado do Rio Grande do Norte adquire o nome de Piranhas-Açu. A bacia é constituída por sete sub-bacias: Piancó, Peixe, Alto Piranhas, Médio Piranhas, Espinharas, Seridó e Baixo Piranhas. As três primeiras bacias estão totalmente inseridas em território paraibano, a sub-bacia do baixo Piranhas situa-se totalmente no Estado do Rio Grande do Norte e as demais estão compreendidas nos dois Estados. O clima é semi-árido, com temperatura média de 24°C, evaporação potencial acima de 2500 mm, precipitação média variando de menos de 500 mm na parte Leste até mais de 700 mm na parte Oeste. A maior parte do solo no Rio Grande do Norte é constituída pelos solos bruno não cálcico e litólicos eutróficos. Já na parte da Paraíba os solos são dos tipos: litólicos eutróficos, bruno não cálcico e podzólicos vermelho amarelo eutrófico. A vegetação é do tipo caatinga com árvores típicas.

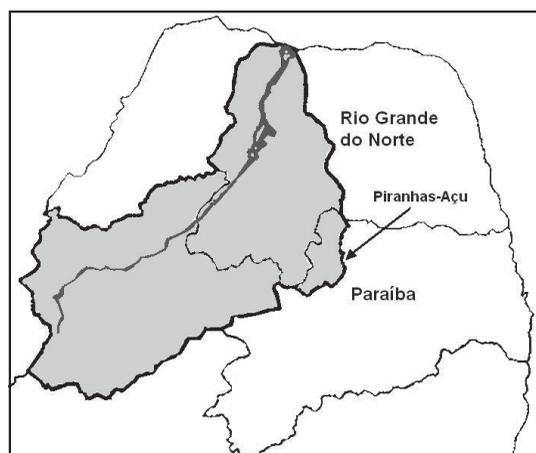


Figura 4: Sistema Piranhas-Açu.

4 Modelagem das áreas

De posse de mapas da SUDENE, as regiões do baixo rio Paraíba e Mamanguape foram delimitadas e divididas, conforme requerido pelo modelo NAVMO, em sub-bacias (Figura 5), sendo a bacia do Baixo Paraíba dividida em 13 sub-bacias e a bacia do Mamanguape em 6 sub-bacias, buscando-se sempre coincidir cada uma das estações fluviométricas indicadas na Figura 5 com a saída de uma dada sub-bacia para possibilitar a comparação de escoamentos simulados e observados. Sendo assim, as estações fluviométricas de Guarita, Ponte da Batalha têm seções de saída nas sub-bacias 1 e 10, e as estações de Mulungú e Ponte do leitão, têm seções de saída nas sub-bacias 1 e 5 respectivamente.

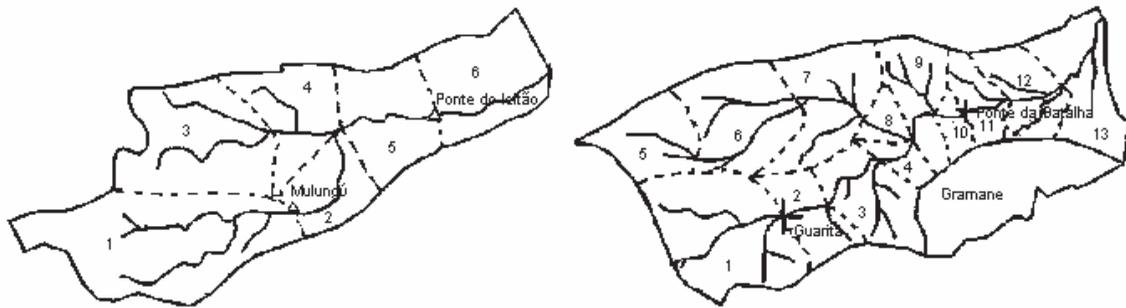


Figura 5: Modelagem das bacias do Mamanguape (esquerda) e Baixo Paraíba (direita).

De maneira similar, foi delimitada a bacia do sistema Piranhas-Açu limitada na parte superior pelo posto de Sítio Vassouras/PB e na parte inferior pelo posto fluviométrico de Sítio Acauã/RN. A divisão da bacia foi feita conforme requerido pelo modelo NAVMO, chegando ao número de 20 sub-bacias (Figura 6) e compreende uma área de 22750 Km², buscando-se coincidir cada uma das estações fluviométricas indicadas na Figura 6 com a saída de uma dada sub-bacia, possibilitando a comparação do escoamento simulado com o observado. As estações de medições de vazões de Patos, Serra Negra do Norte, Jardim de Piranhas, Sítio Volta, Caicó, São Fernando, Sítio Acauã e Sítio Acauã II, inseridas no sistema, têm seções de saída nas sub-bacias 1, 3, 8, 12, 13, 14 e 20 respectivamente. Particularmente a estação de Sítio Acauã e Sítio Acauã II, possuem a mesma localização mas têm séries de dados de diferentes períodos.

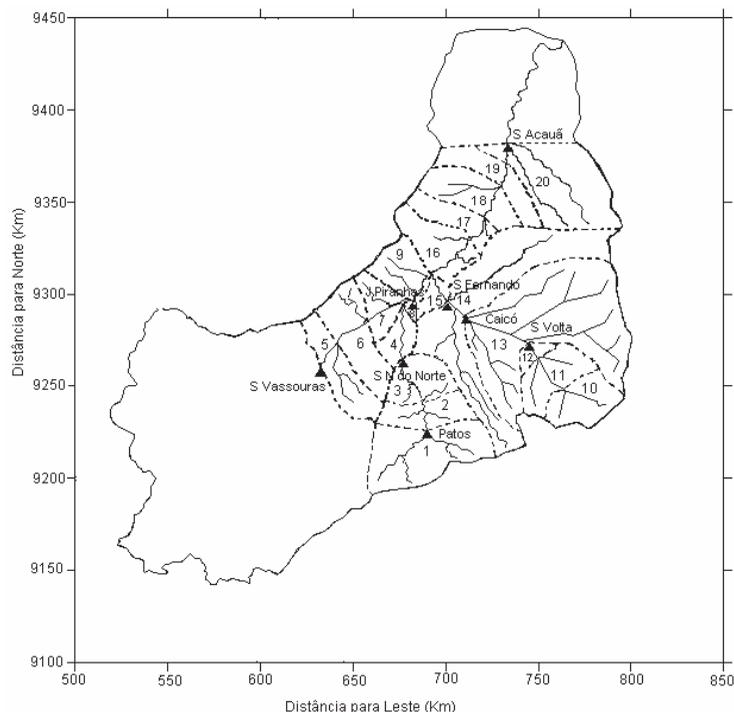


Figura 6: Modelagem da bacia Piranhas-Açu

Os dados das áreas das sub-bacias, coordenadas cartesianas dos seus centróides, cotas e comprimentos de trechos de rios para todas as bacias, foram obtidos a partir de mapas processados em AUTOCAD. Os dados das seções onde ocorre propagação, conforme requerido pelo modelo, foram determinados com base em dados das seções transversais, disponíveis no portal da HIDRO-WEB, das estações fluviométricas de cada posto.

5 Calibragem dos parâmetros

Foram calibrados, por tentativa e erro os parâmetros que mais afetam o escoamento, levando em consideração a variabilidade do clima e do uso do solo sobre o escoamento nas bacias, sendo eles o parâmetro ALFA do escoamento superficial, o parâmetro EET da evapotranspiração e o parâmetro CN que define a capacidade de armazenamento dos reservatórios sub-superficial e superficial. Além destes, devido ao fato de que os rios das bacias estudadas recebem contribuição do lençol e também de regularização, foram também calibrados o parâmetro BETA do escoamento sub-superficial e o parâmetro QBSP que define o escoamento subterrâneo e funciona como uma vazão de regularização para o modelo. Os demais parâmetros do modelo mostraram pouca sensibilidade, por isso seus valores foram fixados e mantidos. O processo de calibragem dos parâmetros foi feito comparando-se vazões máximas e volumes anuais simulados com os observados, bem como hidrogramas diários simulados e observados. Para a calibração foram utilizados dados de vazões médias diárias disponíveis na HIDRO-WEB. Para a variabilidade do clima os anos foram classificados em anos secos, $P < 600$ mm/ano, normais, $600 < P < 800$ mm/ano e úmidos, $P > 800$ mm/ano (Cadier, 1996; Figueiredo e Srinivasan, 1999). A umidade inicial do solo foi fixada em 5%, o que corresponde a um déficit de umidade de 95%, devido ao fato de que as simulações são conduzidas para um período que inicia na fase de estiagem (geralmente 1 de janeiro de cada ano). O método de Williams foi utilizado para o processo de propagação do escoamento. Os dados de evapotranspiração potencial utilizados foram das estações de São Gonçalo (Piranhas-Açu) e Campina Grande, Monteiro e Ouro Velho (baixo Paraíba). Os valores médios dos parâmetros calibrados estão dispostos nas tabelas 1 e 2, os quais foram utilizados posteriormente para a verificação do modelo. Detalhes das calibrações dos parâmetros podem ser encontrados em Lima (2008) e Costa (2008).

Tabela 1: Parâmetros médios calibrados para os postos de medição no baixo Paraíba.

Bacia de Guarita – 599 Km² (*) – 17220 km² (**)					
Parâmetro	EET	ALFA	QBSP	BETA	CN
Médias de Volumes	1,016	0,383	0,005	-	80,27
Médias de Vazões Máximas	1,338	0,499	0,004	-	75,00
Médias	1,177	0,441	0,0045	-	77,63
Bacia de Ponte da Batalha – 2623 Km² (*) - 19244 km² (**)					
Parâmetro	EET	ALFA	QBSP	BETA	CN
Médias de Volumes	1,326	0,280	0,004	0,124	85,59
Médias de Vazões Máximas	1,288	0,310	0,001	0,212	81,76
Médias	1,307	0,295	0,0025	0,168	83,67
Bacia de Mulungú – 1052 Km²					
Parâmetro	EET	ALFA	QBSP	BETA	CN
Médias de Volumes	2,822	0,020	-	0,704	69,23
Médias de Vazões Máximas	2,310	0,065	-	0,546	79,16
Médias	2,566	0,043	-	0,625	74,19
Bacia de Ponte do Leitão - 2910 Km²					
Parâmetro	EET	ALFA	QBSP	BETA	CN
Médias de Volumes	2,187	0,011	0,001	0,267	70,00
Médias de Vazões Máximas	1,824	0,233	0,001	0,231	81,76
Médias	2,006	0,122	0,001	0,249	75,88

(*) área líquida modelada entre o açude de Acauã e a estação; (**) área total

Tabela 2: Parâmetros médios calibrados pelos volumes para as estações no Piranhas-Açu.

Sítio Acauã – 22750 Km² (*) – 37600 km² (**)					
Parâmetro	EET	ALFA	QBSP	BETA	CN
Média	2,669	0,428	0,001	-	50
Média dos úmidos	2,154	0,300	0,0007	-	59
Média dos normais	1,046	0,425	0,0015	-	59
Média dos secos	3,850	0,482	0,0007	-	41
Patos - 1850 Km²					
Parâmetro	EET	ALFA	QBSP	BETA	CN
Média	1,620	0,352	-	-	61
Média dos úmidos	1,247	0,271	-	-	63
Média dos normais	1,075	0,300	-	-	60
Média dos secos	2,531	0,650	-	-	60
Jardim de Piranhas - 6500 Km² (*) – 21350 km² (**)					
Parâmetro	EET	ALFA	QBSP	BETA	CN
Média	1,942	0,434	0,003	-	54
Média dos úmidos	1,093	0,328	0,0035	-	65
Média dos normais	1,936	0,344	0,0023	-	49
Média dos secos	3,080	0,695	0,0033	-	45
Sítio Volta - 1890 Km²					
Parâmetro	EET	ALFA	QBSP	BETA	CN
Média	6,293	0,141	-	-	38
Média dos úmidos	1,731	0,040	-	-	80
Média dos normais	7,053	0,158	-	-	31
Média dos secos	6,293	0,141	-	-	38
Serra Negra do Norte - 3330 Km²					
Parâmetro	EET	ALFA	QBSP	BETA	CN
Média	4,796	0,229	-	-	41
Média dos úmidos	2,937	0,071	-	-	44
Média dos normais	3,710	0,211	-	-	44
Média dos secos	6,441	0,299	-	-	36
Caicó - 6280 Km²					
Parâmetro	EET	ALFA	QBSP	BETA	CN
Média	4,345	0,291	-	-	54
Média dos úmidos	6,361	0,008	-	-	60
Média dos normais	4,410	0,056	-	-	54
Média dos secos	3,474	0,639	-	-	52
São Fernando - 9700 Km²					
Parâmetro	EET	ALFA	QBSP	BETA	CN
Média	1,879	0,558	0,0005	-	55
Média dos úmidos	2,321	0,392	0,0015	-	68
Média dos normais	1,411	0,474	0,0006	-	66
Média dos secos	2,134	0,676	0,0002	-	42

(*) área líquida modelada entre a estação de Sítio Vassouras e a estação; (**) área total

6 Resultados da calibração

As Figuras 7 a 12 mostram comparações de valores simulados com os observados em algumas estações, resultantes do processo de calibração dos parâmetros no baixo Paraíba (Figuras 7 e 8), Mamanguape (Figuras 9 e 10) e no Piranhas-Açu (Figuras 11 e 12).

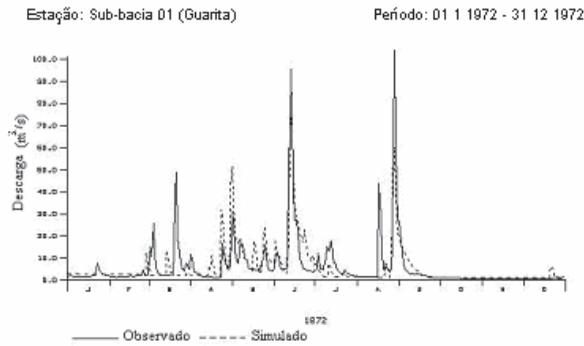


Figura 7: Hidrogramas Simulados com parâmetros calibrados pelos volumes e Observados em Guarita em 1972.

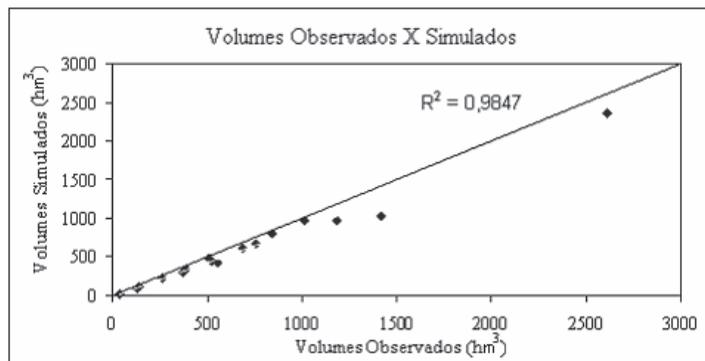


Figura 8: Correlação entre Volumes Anuais Simulados e Observados em Ponte da Batalha.

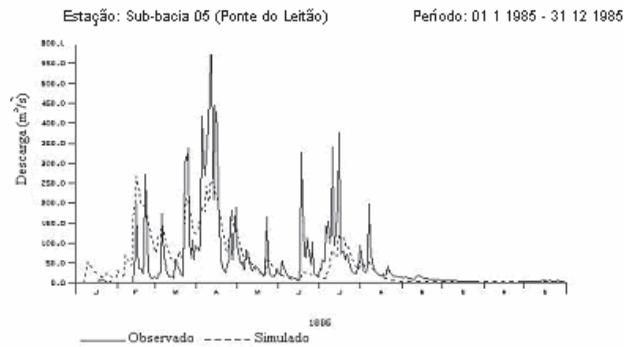


Figura 9: Hidrogramas Simulado com parâmetros calibrados pelo Volume e Observado na Bacia de Ponte do Leitão em 1985.

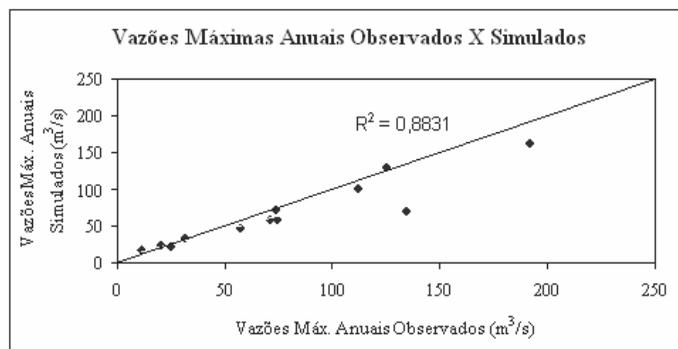


Figura 10: Correlação entre Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na bacia de Mulungú.

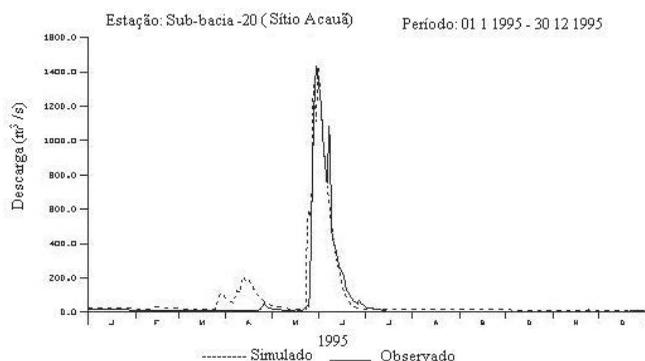


Figura 11: Hidrogramas Simulados com Parâmetros Calibrados pela Vazão Máxima e Observados na Bacia de Sítio Acauã em 1995.

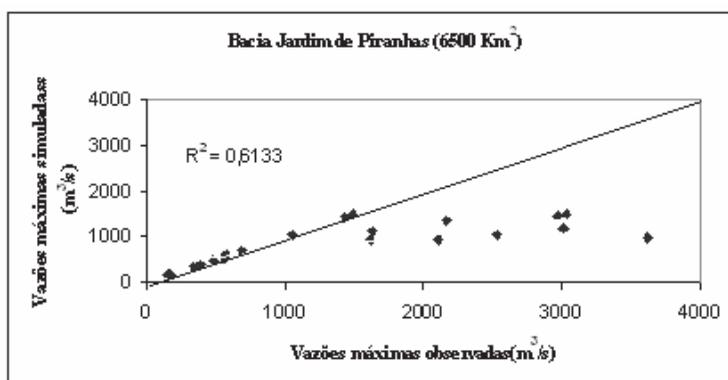


Figura 12 – Correlação entre Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas em Jardim de Piranhas.

7 Verificação da validade dos parâmetros calibrados

As Figuras 13 a 18 mostram comparações de valores simulados com os observados em algumas estações, resultantes do processo de verificação da validade dos parâmetros calibrados, utilizando os valores médios dos parâmetros no baixo Paraíba (Figuras 13 e 16) e no Piranhas-Açu (Figuras 17 e 18).

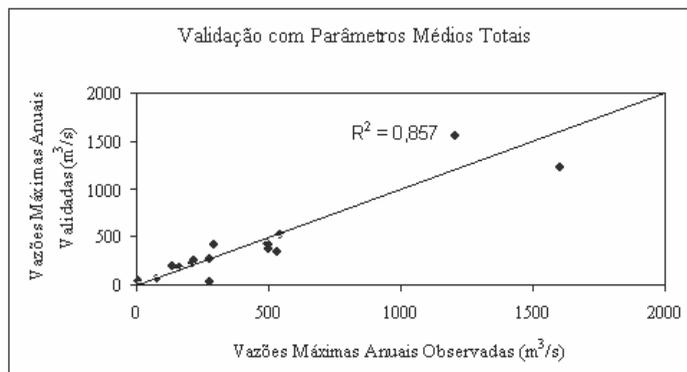


Figura 13: Correlação entre Vazões Máximas Anuais Validadas e Observadas na bacia de Ponte da Batalha.

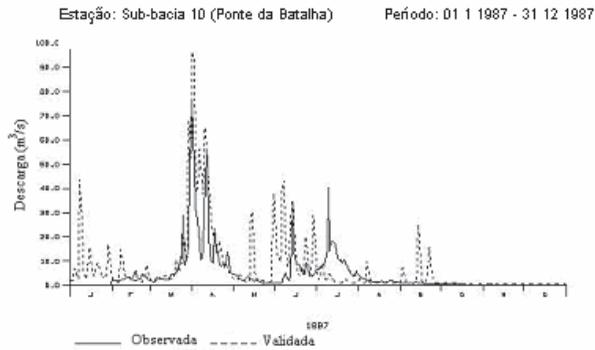


Figura 14: Hidrogramas Validado com parâmetros médios e Observado na Bacia de Ponte da Batalha em 1987.

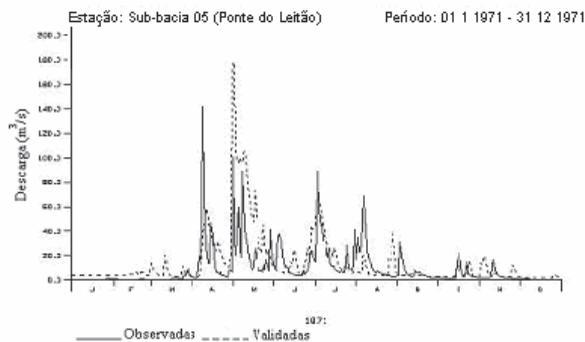


Figura 15: Hidrogramas Validado com parâmetros Médios e Observado na Bacia de Ponte do Leitão em 1971.

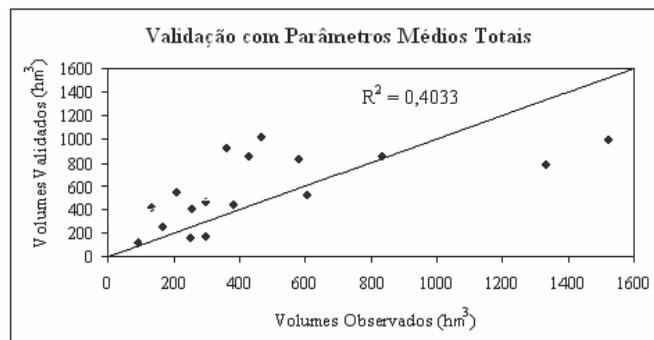


Figura 16: Correlação entre Volumes Anuais Validados e Observados na bacia de Ponte do Leitão.

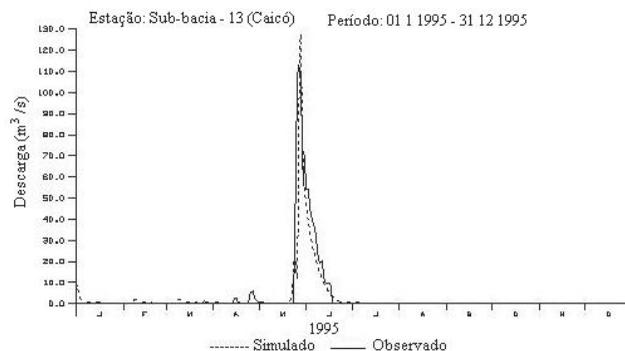


Figura 17: Hidrogramas Validado com Parâmetros médios da Vazão Máxima e Observado na Bacia de Caicó em 1995.

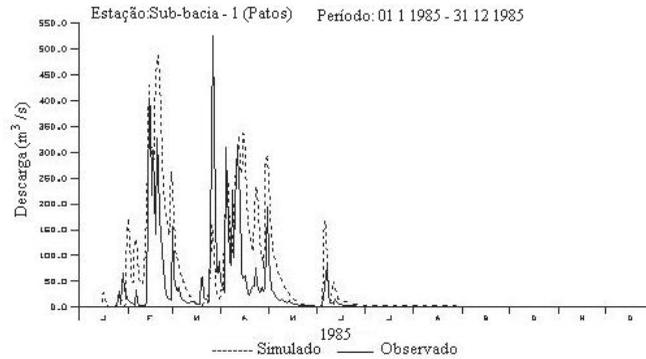


Figura 18: Hidrogramas Validado com Parâmetros médios do Volume e Observado na Bacia de Patos em 1985.

8 Análise dos resultados

Para as bacias do baixo Paraíba e do rio Mamanguape os resultados da calibração realizada com a comparação entre os volumes e vazões máximas anuais foram bons, haja vista que para todas as bacias tanto o volume quanto a vazão máxima anual foi muito bem representado, tanto graficamente quanto numericamente com coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,6. Os valores obtidos para as simulações realizadas pela vazão máxima anual e pelo volume total anual se aproximaram muito dos valores observados, obtendo-se uma média superior a 0,8 para R^2 . A representação gráfica dos escoamentos foi satisfatória, mesmo em alguns casos tendo sido observado defasagem no tempo. A validação do modelo foi de um modo geral, razoavelmente boa quando os hidrogramas foram comparados, embora algumas defasagens no tempo foram observadas quando os picos foram analisados e os resultados obtidos para o coeficiente de determinação não foram bons, com valor médio inferior a 0,4.

Para a região do Piranhas-Açu, de um modo geral pode-se dizer que o modelo foi bem calibrado, obtendo-se bons valores de R^2 , sendo que apresentou melhores resultados para a calibração dos volumes anuais ($R^2 = 0,926$) do que para os picos ($R^2 = 0,806$). No processo de verificação da validade dos parâmetros, os valores de R^2 ficaram abaixo de 0,33.

Em ambas as regiões, os resultados numéricos das validações não foram em geral bons. Pode-se atribuir isto a vários aspectos como a não representação de todas as características e variabilidades do sistema pelo modelo, a qualidade dos dados já que foram verificados valores muito baixos de vazão para áreas muito grandes. Um exemplo disto ocorreu na sub-bacia de Caicó onde foram observadas vazões máximas de até 0,9 m³/s (ano 1986), e também os critérios de validação. Com base nestes aspectos, os resultados de validação podem ser considerados razoáveis para estudos futuros de regionalização em ambas as regiões.

9 Conclusões

Com base nos resultados, foi possível concluir que o modelo NAVMO foi bem calibrado para todas as bacias das duas regiões estudadas, com boas comparações dos hidrogramas diários e valores do coeficiente de determinação acima de 0,6.

A verificação da validade dos parâmetros apresentou boas comparações dos hidrogramas diários, porém os valores do coeficiente de determinação não refletiram os resultados gráficos.

Referências

- COSTA, D. C. *Modelagem do escoamento no sistema Piranhas-Açu utilizando o modelo NAVMO*. 2008. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.
- CRISPIM, A. M. C. *Regionalização hidrológica na região do alto rio Piranhas-PB utilizando dados simulados com modelo distribuído*. 2005. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2005.

FIGUEIREDO, E. E.; BATHURST, J. C. Runoff and sediment yield predictions in a semiarid region of Brazil using SHETRAN: Predictions in ungauged basins: PUB Kick-off. In: PREDICTIONS IN UNGAUGED BASINS KICK-OFF MEETING, 2002, Brasília, DF. *Proceedings...* Wallingford, UK: IAHS Publication, 2007. v. 309, p. 258-266.

FIGUEIREDO, E. E.; LOPES, P. L.; BRAGA, A. C. F. M. Uncertainty in simulated runoffs using the distributed model NAVMO. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HYDROINFORMATICS, 6., 2004, Singapore. *Proceedings...* Singapore: ICH, 2004. v. 2, p. 1783-1790.

FIGUEIREDO, E. E.; OVERLAND, H.; KLEEBERG, H. B. O modelo NAVMO de simulação do escoamento superficial. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 9., 1991, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: ABRH, 1991. v. 2, p. 337-346.

FIGUEIREDO, E. E. et al. Long-Term runoff simulations with the model NAVMO for regional analyses in semi-arid regions of Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HYDROINFORMATICS, 7., 2006, Nice. *Proceedings...* Nice: HIC, 2006b. p. 1535-1542.

FIGUEIREDO, E. E. et al. Parameter scale analysis in runoff modelling in semi-arid regions of Brazil with the model NAVMO. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HYDROINFORMATICS, 7., 2006, Nice. *Proceedings...* Nice: HIC, 2006a. p. 1527-1534.

GREEN, I. R. A.; STEPHENSON, D. Criteria for comparison of single event models. *Hydrological Sciences Journal*, Boston, v. 31, n. 3, p. 395-411, 1986.

HUBERT, P. et al. Hydrological sciences on mission. In: PREDICTIONS IN UNGAUGED BASINS KICK-OFF MEETING, 2002, Brasília, DF. *Communications...* Brasília, DF: IAHS, 2002.

KLEMEŠ S, V. Operational testing of hydrological simulation models. *Hydrological Sciences Journal*, Boston, v. 31, n. 1, p. 13-24, 1986.

LIMA, K. A. *Modelagem do escoamento no baixo rio Paraíba/PB e Mamanguape para fins de regionalização hidrológica*. 2008. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

NUNES, A. S. O. *Regionalização hidrológica na região do alto Rio Paraíba-PB utilizando dados simulados com modelo distribuído*. 2005. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2005.

SOBRE OS AUTORES

Eduardo E. Figueiredo

Engenheiro Civil pela Universidade Federal da Paraíba – UFPB em 1982. Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB em 1987. Doutor em Engenharia pela University of Newcastle Upon Tyne, TYNE, Inglaterra em 1998. Professor Associado do Centro de Tecnológica e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, onde atua em nível de graduação e pós graduação, tendo orientado 12 dissertações de mestrado.

Katiana de Araújo Lima

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG em 2005. Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG em 2008.

Dayane Carvalho da Costa

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG em 2005. Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG em 2008.