

XVI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

ANÁLISE COMPARATIVA DOS MODELOS HEC-HMS, CAWM E GR4J APLICADOS ÀS SUB-BACIAS DO RIO PARNAÍBA

João Victor Bezerra Chaves¹, Ana Beatriz Accioly de Menezes², Emanuel Joaquim Daniel

Júnior³, Jullius Cesar Ferreira Bastos⁴ & José Almir Cirilo⁵

RESUMO – A modelagem hidrológica é um processo que consiste na representação das características e das dinâmicas individuais de cada bacia hidrográfica por um curto período de tempo. Assim, permite auxiliar na gestão dos recursos hídricos, melhorando o entendimento das vazões observadas e calculadas, por meio das variáveis integrantes do ciclo hidrológico. Este trabalho consiste na aplicação de três modelos hidrológicos distintos nas cinco principais sub-bacias do rio Parnaíba, analisando o desempenho de cada um e realizando uma análise comparativa acerca das incertezas atreladas a cada modelo. Sendo assim, foram aplicados os modelos hidrológicos CAWM, HEC-HMS e o GR4J. De forma geral, o modelo HEC-HMS teve mais dificuldade ao simular o comportamento observado nas sub-bacias do Parnaíba. As sub-bacias localizadas em regiões com maior predominância de clima semi-árido, como Canindé e Gurguéia, apresentam dados de precipitação e de vazão não constantes, dificultando o ajuste dos métodos de perdas. Mesmo diante de alguns resultados insatisfatórios, os modelos CAWM, HEC-HMS e GR4J mostraram-se como boas ferramentas para melhor compreender as dinâmicas que ocorrem em grandes bacias hidrográficas através de dados simulados e observados, tendo a capacidade de fornecer valiosas informações para auxiliar no planejamento dos recursos hídricos de determinada região.

Palavras-chave: Modelo Hidrológico; Parnaíba; CAWM

ABSTRACT – Hydrological modeling is a process that consists of representing the individual characteristics and dynamics of each watershed for a short period of time. Thus, it helps in the management of water resources, improving the understanding of observed and calculated flows, through the variables that are part of the hydrological cycle. This work consists of the application of three different hydrological models in the five sub-basins of Parnaíba, analyzing the performance of each one and carrying out a comparative analysis about the uncertainties linked to each model. Therefore, the hydrological models CAWM, HEC-HMS and GR4J were applied. In general, the HEC-HMS model had more difficulty in simulating the behavior observed in the Parnaíba river sub-basins. The sub-basins located in regions with a greater predominance of semi-arid climate, such as Canindé and Gurguéia, present non-constant rainfall and flow data, making it difficult to adjust the loss methods. Even with some unsatisfactory results, the CAWM, HEC-HMS and GR4J models prove to be good tools to better understand the dynamics that occur in large hydrographic basins through simulated and observed data, having the ability to provide valuable information to assist in the planning of water resources in a given region.

Key words: Hydrological Model; Parnaíba; HEC-HMS; CAWM. GR4J.

1, 2, 3 e 4) Alunos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC). Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Civil. Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, CEP 50740-530, Recife-PE

5) Professor do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental; CTG-UFPE, Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, CEP: 50.740-530; Recife; PE; Brasil; e-mail: jose.cirilo@ufpe.br

1. INTRODUÇÃO

A modelagem hidrológica consiste em um processo de representação da dinâmica e das características da bacia hidrográfica do estudo em um período curto de tempo, permitindo auxiliar na gestão dos recursos hídricos, além de um melhor entendimento das vazões observadas e calculadas, fazendo uso das variáveis que integram o ciclo hidrológico (ALMEIDA *et al*, 2018). Além disso, a aplicação da modelagem em eventos de cheias consiste em uma ferramenta essencial acerca da tomada de decisões que visam mitigar o poder destrutivo diante da população e região potencialmente atingida.

O objetivo da análise comparativa entre três modelos hidrológicos aplicados em cinco sub-bacias é analisar os resultados diante da sensibilidade de cada modelo e avaliar seus respectivos desempenhos a partir das características de cada sub-bacia. Portanto, a escolha de aplicar um modelo hidrológico está atrelada a necessidade da obtenção de resultados válidos para a região de estudo. De acordo com Knight (2006), existem cinco motivos principais para buscar a modelagem hidrológica, sendo eles: previsão de vazões em tempo real, projetos de intervenção na bacia hidrográfica, auxílio na tomada de decisões, reformulação de cheias anteriores e serviços de operação e manutenção de infraestruturas.

Os principais desafios acerca da modelagem hidrológica são a complexidade de reunir os dados de entrada e as incertezas atreladas ao próprio modelo, as quais podem estar relacionadas aos dados de entrada, aos parâmetros adotados ou à própria calibração (KUCZERA *et al*, 2010). Sendo assim, para a obtenção de resultados satisfatórios, é crucial definir com clareza tais variáveis e estar atento às calibrações necessárias para a bacia em estudo.

O trabalho realizado consiste na aplicação de três modelos hidrológicos nas cinco sub-bacias do Parnaíba, visando analisar o desempenho de cada um, além de realizar uma análise comparativa acerca das incertezas atreladas a cada modelo. Sendo assim, foram aplicados os modelos hidrológicos CAWM (*Campus Agreste Watershed Model*), HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System*) e o GR4J (*Génie Rural à 4 Parâmetros Journalier*), os quais serão detalhados a seguir.

O desafio da Oficina de Modelagem da UFPE, que deu origem ao presente artigo, é avaliar o comportamento de modelos normalmente aplicados a pequenas bacias, concentrados ou semi-distribuídos (caso do HEC-HMS, porém atuando como concentrado) para grandes regiões hidrográficas.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo consiste nas cinco sub-bacias do Parnaíba: Canindé, Gurguéia, Poti, Longá e Principal (rio Parnaíba). A bacia do Parnaíba encontra-se localizada na região Nordeste e possui cerca de 331.000 km² de área, estando 75% no estado do Piauí, 20% no Maranhão e 5% no Ceará, de acordo com a CPRM (2017).

O rio Parnaíba tem sua nascente na Chapada das Mangabeiras, com 1.344 km de extensão e seus principais afluentes são os rios Longá, Poti, Canindé, Gurguéia e rio das Balsas. Já em relação ao clima, varia entre semiárido a tropical úmido, apresentando média anual de precipitação de 1.030 mm, com menores valores ocorrendo na sub-bacia Canindé e os maiores valores ocorrendo na sub-bacia Longá (CPRM, 2017).

A Figura 1 apresenta as cinco sub-bacias que integram a bacia do Parnaíba e a Tabela 1 apresenta as características físicas principais de cada uma.

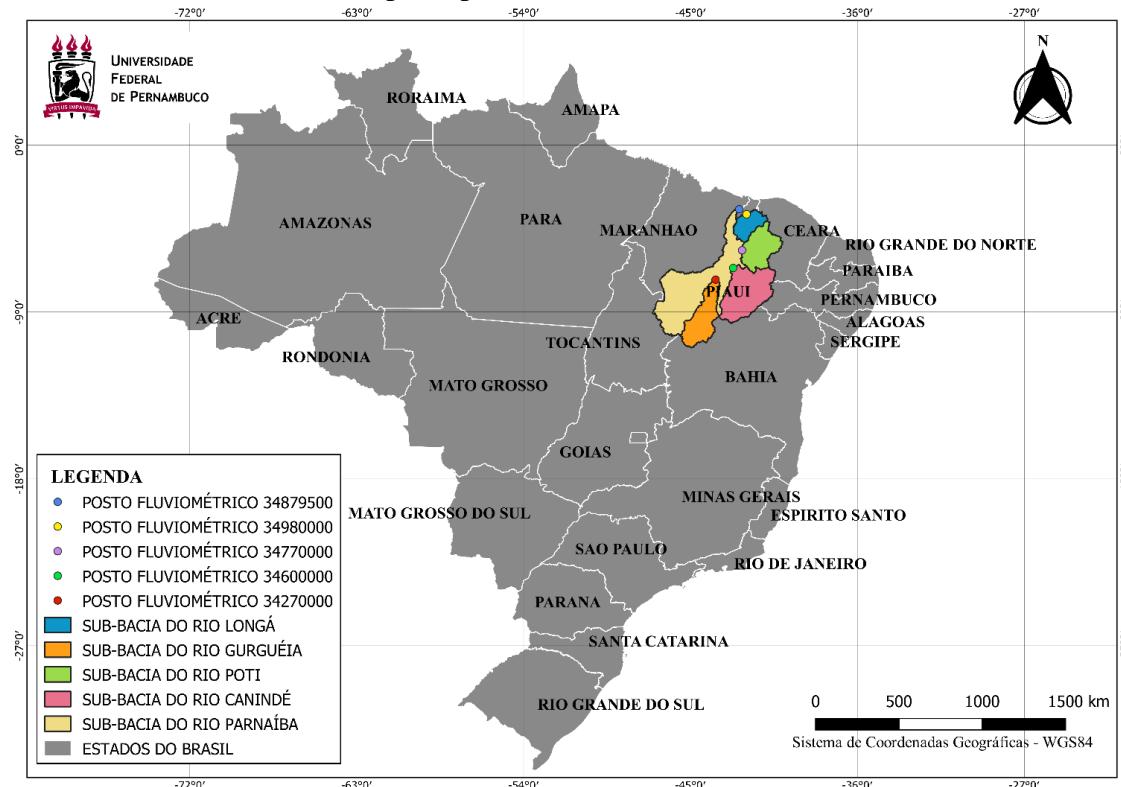


Figura 1 – Área de Estudo – Bacia Hidrográfica do rio Parnaíba

Tabela 1 – Características físicas das sub-bacias do Parnaíba.

Nome da Bacia	Canindé	Gurguéia	Longá	Poti	Principal
Área da bacia - Ab (km ²)	73.553	47.029	21.809	43.264	302.105
Comprimento total da drenagem - Lt (m)	9.080.346	5.605.916	2.992.341	6.403.348	36.541.200
Declividade equivalente dos rios - I (m/m)	0,0007	0,0006	0,0005	0,0015	0,0006

Fonte: Os Autores.

No tocante aos dados de entrada, os dados de precipitação e vazão foram extraídos da base da Hidroweb e os dados de evapotranspiração foram extraídos das normais climatológicas INMET. Com os dados dos 609 postos pluviométricos, foi realizado o cálculo da chuva média para cada sub-bacia utilizando a metodologia do polígono de Thiessen. Em relação a vazão, as estações fluviométricas utilizados encontram-se na Tabela 2 e para os valores de evapotranspiração, foi realizado o cálculo médio para os postos presentes na área de estudo, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 2 – Estações fluviométricas utilizadas para cada sub-bacia do Parnaíba.

Bacia	Canindé	Gurguéia	Longá	Poti	Principal
Estação Fluviométrica	Francisco Ayres (34600000)	Barra do Lance (34270000)	Tiguis (34980000)	Prata do Piauí (34770000)	Rio Mamanguape (3879500)

Latitude	-6,6222	-7,2475	-3,7239	-5,6664	-3,4539
Longitude	-42,6969	-43,6433	-41,9742	-42,2136	-42,37

Fonte: HIDROWEB (2022).

Tabela 3 – Dados de evapotranspiração utilizados.

Mês	mm/dia	Mês	mm/dia	Mês	mm/dia	Mês	mm/dia
Janeiro	4,4	Abril	3,83	Julho	3,29	Outubro	4,31
Fevereiro	4,29	Maio	3,43	Agosto	4,03	Novembro	3,96
Março	4,1	Junho	3,2	Setembro	4,27	Dezembro	3,52

Fonte: INMET (2022).

3. METODOLOGIA

Para a metodologia deste trabalho, estabeleceram-se diretrizes padronizadas para a definição e análise dos modelos hidrológico a serem utilizados, baseando, assim, no trabalho realizado por Moriasi *et al.* (2007). A priori, então, realizou-se o estudo das principais características dos modelos, apresentadas na Tabela 4. A análise do resultados deu-se, então, pela metodologia de cada modelo e seus respectivos indicadores de desempenho, bem como levou em consideração as características físicas individuais de cada sub-bacia selecionada.

Tabela 4 – Características dos modelos hidrológicos de aplicação.

Modelo	Tipo de modelo
CAWM	Concentrado com embasamento conceitual
GR4J	Concentrado, embasamento híbrido métrico-conceitual
HEC-HMS	Concentrado/semi-distribuído com embasamento físico

Fonte: Adaptado de Nobre *et al.* (2021).

Como supracitado, a análise dos resultados deu-se a partir, também, de indicadores de desempenho. Estes indicadores, bem como suas respectivas cores e valores, podem ser observados na Tabela 5. A Tabela 5 categoriza os indicadores em: Muito Bom, Bom, Satisfatório e Insuficiente. Os indicadores utilizados, NSE, Pbias e RSR, possibilitaram uma análise conjunta para cada modelo.

Tabela 5 – Valores recomendados de performance para simulações mensais.

Valores de Performance Recomendados	NSE	Pbias	RSR
Muito bom	0,75 a 1,00	< + 10	0 a 0,5
Bom	0,65 a 0,75	+ 10 a + 15	0,5 a 0,6
Satisfatório	0,5 a 0,65	+ 15 a + 25	0,6 a 0,7
Insuficiente	<0,5 >	+ 25	>0,7

Fonte: Adaptado de Moriasi *et al.* (2007).

Por fim, vale-se destacar que outras métricas de desempenho também foram obtidas a fim de uma análise estatística. Essa análise mostra uma correlação linear entre os dados observados e simulados, o R^2 . Além deste, outra técnica adimensional foi observada, com intuito de realizar uma avaliação relativa do modelo e do respectivo índice de erro, o RMSE, responsável por quantificar o desvio acumulado unitário nos dados de interesse (MORIASI *et al.*, 2007). O RMSE permite, ainda, correlacionar alguns valores com características específicas simuladas, como mudanças do NSE, NSEsqrt e NSElog, já que são mais adequadas para altas, médias e baixas vazões,

respectivamente.

✓ **Modelo CAWM (*Campus Agreste Watershed Model*)**

O modelo concentrado CAWM foi desenvolvido para melhor representar as características físicas e climáticas das bacias hidrográficas localizada em regiões semiáridas. O modelo prioriza a simulação de escoamento, entendendo que este é o processo mais importante para estudar bacias hidrográficas localizadas em regiões semiáridas. Outro aspecto abordado diz respeito à distribuição espaço-temporal da precipitação, que é mais irregular nas regiões semiáridas. A metodologia utilizada buscou representar essa questão (CIRILO *et al.*, 2019).

Para mais, outro objetivo do modelo é facilitar os parâmetros de regionalização, a fim de permitir sua aplicação para dados escassos das bacias hidrográficas. A busca pela integração de dados físicos na conceituação de parâmetros permite esse processo (CIRILO *et al.*, 2019).

✓ **Modelo HEC-HMS (*Hydrologic Modeling System*)**

De acordo com Leitão *et al* (2017), o HEC-HMS (*Hydrologic Modeling System*) consiste em um programa de modelagem hidrológica, o qual foi desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidrológica do Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA, em 1982. Bastante utilizado na Academia, o HEC-HMS é aplicado para retratar simulações de chuva-vazão para bacias hidrográficas, utilizando como princípio as componentes do ciclo hidrológico e condições de contorno para modelar eventos de cheias de curta e longa duração.

O sistema de modelagem do HEC-HMS dispõe de várias metodologias para cálculo de cada componente, permitindo maior detalhamento a medida que aumenta-se a discretização das bacias de contribuição. Além disso, o modelo permite calibrações dos parâmetros, visando adequá-los às características das bacias em análise. Sendo assim, a escolha do HEC-HMS como uma ferramenta de aplicação levou em consideração a facilidade da modelagem e suas vantagens, como ampla utilização com sucesso em estudos nos EUA, além da facilidade de configuração e necessidade de implementação de poucos parâmetros das bacias em análise.

Para o presente estudo, os dados de entrada inseridos no modelo do HEC-HMS foram os dados de cada sub-bacia, como a área e o centróide, dados de pluviometria, vazão, evapotranspiração e dados que englobam o tipo de uso e ocupação do solo. Já em relação às metodologias adotadas, destacam-se: *Deficit and Constant* para as perdas, *SCS Unit Hydrograph* para a transformação chuva-vazão, *Linear Reservoir* para o escoamento de base, *Simple Canopy* para a presença de vegetação e *Simple Surface* para análise da recarga subterrânea.

✓ **Modelo GR4J (*Génie Rural à 4 Paràmetres Journalier*)**

O GR4J (*Modèle du Génie Rural à 4 paramètres Journalier*) é um modelo concentrado, com embasamento chamado de híbrido (métrico-conceitual) que possui quatro parâmetros otimizáveis em sua fase de calibração, sendo eles: X1 – a capacidade máxima de produção (mm), X2 – o coeficiente de troca de água da bacia (mm/dia), X3 – a capacidade máxima de um dia para o repositório de roteamento (mm) e X4 – a base de tempo do hidrograma (dias). A Figura 2 apresenta um esquema simplificado do modelo proposto por Perrin *et al.* (2003), além dos parâmetros citados, o modelo tem como entrada a precipitação (P) e a evapotranspiração potencial (E).

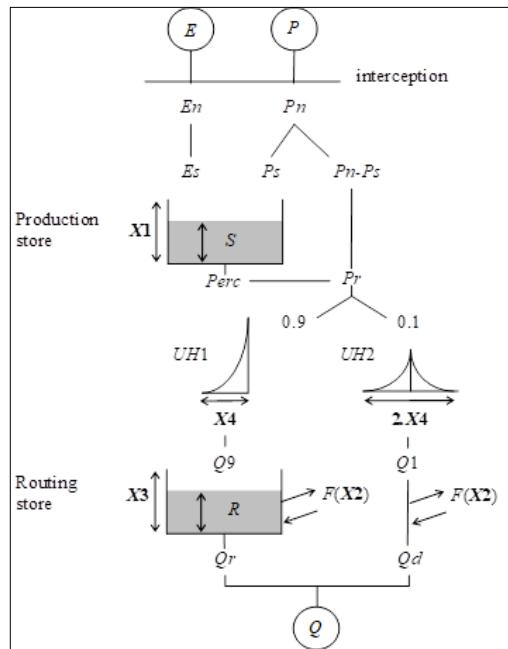


Figura 2 – Esquema simplificado do modelo GR4J. Fonte: Perrin *et al.* (2003)

Onde P_n é a precipitação total, E_n é a evapotranspiração total, P_s é a parcela da precipitação total que vai para o estoque de produção, S é o nível do estoque de produção, E_s é uma parte da evaporação removida do reservatório de produção, $Perc$ é a percolação que vem do reservatório de produção, P_r é a quantidade de água que atinge o próximo reservatório hipotético, dividida aqui em duas componentes de fluxo ($Q1$ e $Q9$), F é um fator de troca de água subterrânea (para perda ou ganho); R é o nível de armazenamento, Q_d é uma componente do fluxo, Q_r é a componente de fluxo de saída do reservatório de nível R e, finalmente, Q é a vazão calculada final do modelo.

Para todos os modelos e para todas as sub-bacias, a simulação foi dividida em dois períodos distintos: o de calibração (CAL), que ocorre de janeiro de 1982 até outubro de 2001, e o período de verificação (VER), que ocorre de outubro de 2001 até junho de 2021. De maneira geral, a calibração dos três modelos se dá através da maximização do Coeficiente de Eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE), em conjunto com a otimização de outros critérios de desempenho como o Pbias e o RSR, por exemplo.

4. RESULTADOS

A Tabela 6 apresenta os valores dos indicadores de desempenho do CAWM em relação às cinco sub-bacias escolhidas para estudo. Em sequência, as Figuras 3, 4 e 5 apresentam os hidrogramas unitários com vazão média por dia juliano, que corresponde à média de longo período, de 1 a 365 dias, a curva de permanência e os gráficos validação dos três modelos chuva-vazão diário para a sub-bacia Principal (rio Parnaíba), respectivamente. As cores utilizadas na Tabela 6 seguem o padrão apresentado na Tabela 5.

Tabela 6 – Resultados dos indicadores obtidos para o CAWM, HEC-HMS e GR4J.

Parâmetros do CAWM											
Sub-bacia	Principal		Canindé		Gurguéia		Longá		Poti		
Data Inicial	11/01/82	07/10/01	03/01/82	03/10/01	03/01/82	03/10/01	03/01/82	03/10/01	03/01/82	03/10/01	
Data Final	06/10/01	30/06/21	02/10/01	30/06/21	02/10/01	30/06/21	02/10/01	30/06/21	02/10/01	30/06/21	
	CAL.	VER.									
NSE	0,83	0,72	0,62	0,65	0,53	-0,03	0,76	0,68	0,57	0,62	
NSEsqrt	0,83	0,73	0,68	0,48	0,69	0,11	0,82	0,81	0,71	0,65	
NSElog	0,81	0,71	0,65	0,51	0,76	0,39	0,77	0,80	0,77	0,71	
Pbias	-0,06	16,53	-5,26	50,91	-7,50	87,27	7,67	-3,63	2,30	21,07	
RSR	0,41	0,53	0,62	0,59	0,69	1,01	0,49	0,57	0,65	0,62	
R²	0,83	0,82	0,63	0,67	0,53	0,43	0,79	0,73	0,61	0,63	
Parâmetros do HEC-HMS											
Sub-bacia	Principal		Canindé		Gurguéia		Longá		Poti		
Data Inicial	11/01/82	31/12/01	11/01/82	31/12/01	11/01/82	31/12/01	11/01/82	31/12/01	11/01/82	31/12/01	
Data Final	30/12/01	30/06/21	30/12/01	30/06/21	30/12/01	30/06/21	30/12/01	30/06/21	30/12/01	30/06/21	
	CAL.	VER.									
NSE	0,82	0,69	0,52	0,14	0,43	-0,33	0,71	0,62	0,65	0,67	
NSEsqrt	0,79	0,65	0,55	0,31	0,60	-0,20	0,75	0,71	0,77	0,74	
NSElog	0,70	0,52	-0,50	0,17	0,56	0,12	0,36	0,35	-0,35	0,22	
Pbias	-8,17	4,65	-15,96	81,25	-9,93	103,82	12,82	14,67	-15,36	-7,71	
RSR	0,43	0,55	0,70	0,92	0,76	1,15	0,54	0,62	0,59	0,57	
R²	0,83	0,78	0,56	0,62	0,44	0,32	0,73	0,62	0,70	0,68	
Parâmetros do GR4J											
Sub-bacia	Principal		Canindé		Gurguéia		Longá		Poti		
Data Inicial	11/01/82	11/01/82	03/01/82	03/01/82	03/01/82	03/01/82	11/01/82	11/01/82	11/01/82	11/01/82	
Data Final	30/06/21	30/06/21	30/06/21	30/06/21	30/06/21	30/06/21	30/06/21	30/06/21	30/06/21	30/06/21	
	CAL.	VER.									
NSE	0,61	0,68	0,60	0,59	-0,40	-5,50	0,88	0,77	0,77	0,68	
NSEsqrt	0,59	0,68	0,59	0,64	0,22	-0,04	0,88	0,82	0,79	0,72	
NSElog	0,58	0,68	-11,39	-3,61	0,30	0,46	0,73	0,73	0,72	0,64	
Pbias	5,66	-8,85	-52,97	-18,32	-25,06	90,68	11,66	-13,71	12,63	21,75	
RSR	0,62	0,57	0,63	0,64	1,18	2,55	0,34	0,48	0,48	0,56	
R²	0,63	0,72	0,66	0,67	0,21	0,35	0,89	0,81	0,77	0,73	

Fonte: Os Autores.

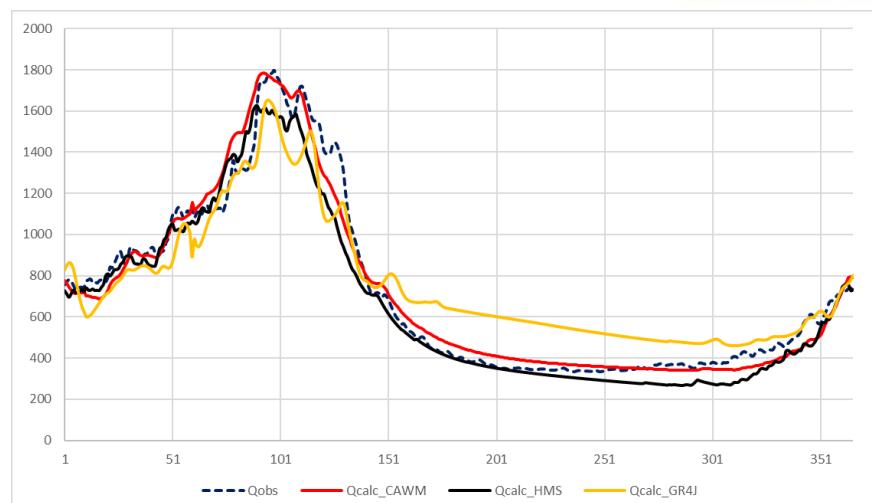


Figura 3 – Hidrograma Juliano: vazão média por dia do ano – Sub-bacia Principal (rio Parnaíba)

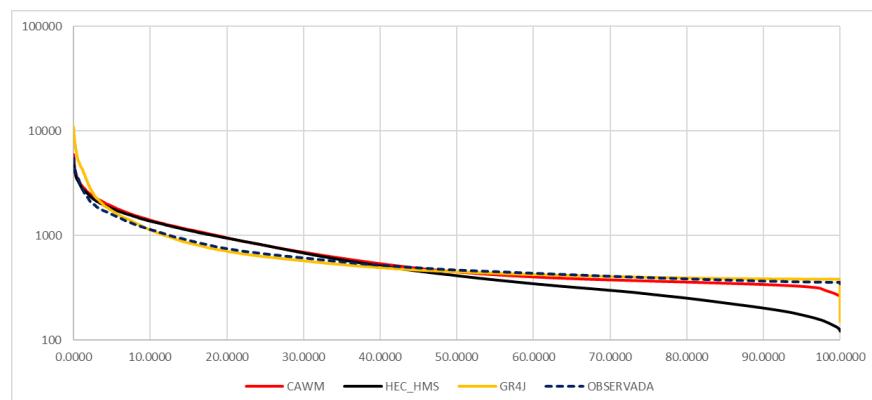


Figura 4 – Curva de Permanência – Sub-bacia Principal (rio Parnaíba)

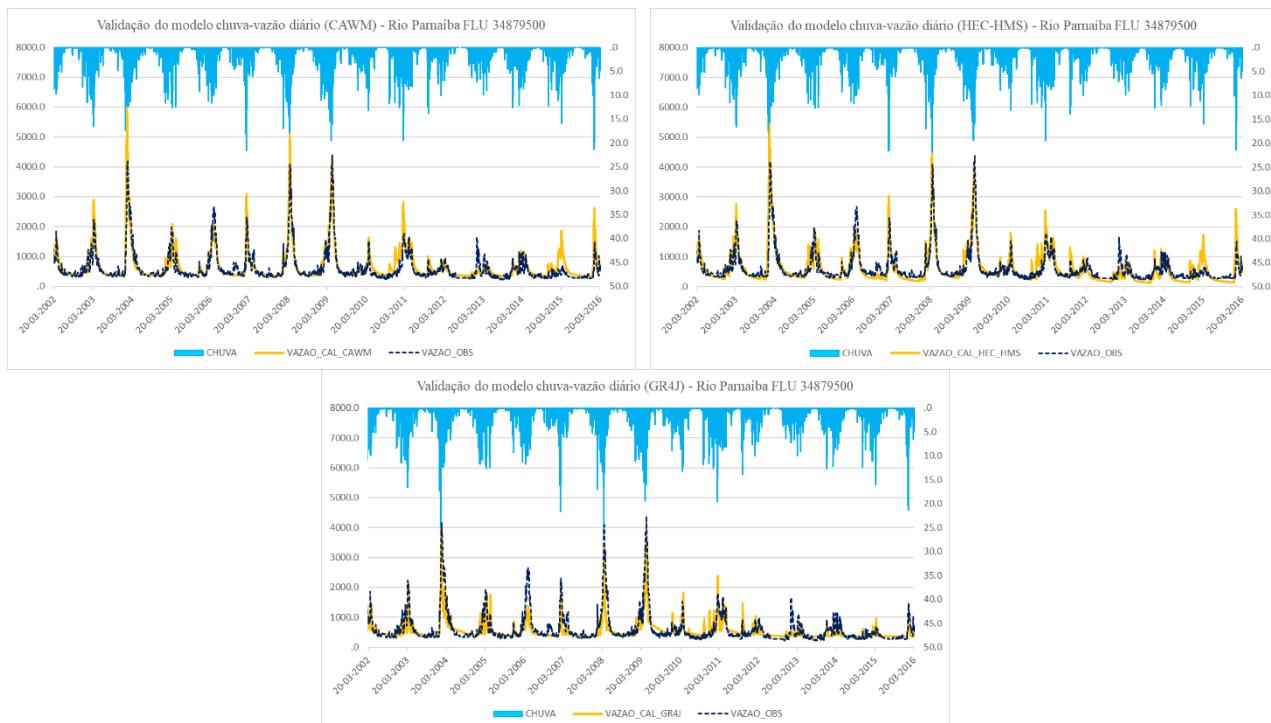


Figura 5 – Resultados dos ajustes para a sub-bacia Principal (rio Parnaíba)

5. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

As simulações com o CAWM levaram, na maior parte dos casos, a valores bons a muito bons para o coeficiente Nash-Sutcliffe e variações, com bons ajustes tanto para baixas quanto altas vazões, representadas pelos indicadores NSEsqrt e NSElog, respectivamente, com resultado satisfatório para a sub-bacia de Poti. O CAWM apresentou os melhores resultados para a sub-bacia Principal e Longá, mesmo sendo as de maior área de drenagem.

Apresentou bons resultados para o percentual de tendência (Pbias) para as sub-bacias de Longá e Poti, indicador que mede a tendência dos dados simulados serem maiores ou menores que os dados observados, e resultado insuficiente para as sub-bacias do Canindé e principalmente do Gurgueia.

No geral, o CAWM se adaptou bem aos ajustes tanto nas bacias localizadas em regiões úmidas como semiáridas. Considerando o critério de Moriasi *et al.* (2007) e de Nobre *et al.* (2021), o qual agrupa os valores de NSE, Pbias e RSR, foram obtidos 86% dos resultados satisfatórios (sendo 68% dos resultados considerados muito bons e bons).

O modelo HEC-HMS retornou um bom ajuste frente aos dados de vazão observados para as baciais Principal (rio Parnaíba), Longá e Poti, com resultados variando entre muito bons e bons para o NSE e com resultados majoritariamente bons para o Pbias. Porém, do mesmo modo que o CAWM, o modelo HEC-HMS trouxe resultados insatisfatórios quanto a simulação das bacias do Canindé e do Gurgueia.

De maneira semelhante aos demais modelos, o GR4J apresentou resultados satisfatórios para as bacias Principal (rio Parnaíba), Longá e Poti, com resultados muito bons ou bons, conforme o critério de Moriasi *et al.* (2007), para os indicadores de desempenho NSE, Pbias e RSR. As simulações do GR4J para as bacias do Canindé e do Gurgueia apresentaram o pior desempenho entre os modelos estudados, com resultados classificados como insatisfatórios para todos os indicadores de desempenho.

Os resultados insatisfatórios obtidos para as sub-bacias do Canindé e do Gurgueia podem se dar ao fato de que a série de vazões observadas nos postos fluviométricos escolhidos apresentam períodos de falha nas leituras consideráveis, por exemplo, o posto fluviométrico de Canindé (34600000) apresenta uma falha que se inicia no começo de 2004 e segue até o fim de 2007, dificultando o ajuste adequado do modelo.

De maneira geral, o HEC-HMS foi o modelo que mais teve dificuldades em simular o comportamento observado nas sub-bacias do Parnaíba. As sub-bacias localizadas em regiões com maior predominância de clima semi-árido, como as do Canindé e do Gurgueia, tipicamente apresentam ciclos anuais de dados de precipitação e de vazão não constantes, dificultando o ajuste dos métodos de perdas, transformação chuva-vazão e de escoamento de base utilizados no presente trabalho. Outro fator que dificulta é que os modelos hidrológicos geralmente não contemplam as características de acumulação rio-aquífero e troca de água para o tipo de subsolo cristalino, presente na maior parte do semiárido, em especial nas bacias que apresentaram o pior desempenho nesse trabalho.

Mesmo diante de alguns resultados insatisfatórios, os modelos CAWM, HEC-HMS e GR4J se mostraram como boas ferramentas para melhor compreender as dinâmicas que ocorrem em bacias hidrográficas através de dados simulados e observados, fornecendo valiosas informações para auxiliar na tomada de decisão a respeito do planejamento dos recursos hídricos de uma determinada região.

Registre-se, contudo, que como a calibração dos modelos depende da experiência do modelador. Portanto, a comparação dos seus desempenhos deve ser compreendida com ressalvas.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C.A.P. *et al.* (2018). “Modelagem hidrológica como instrumento de manejo ambiental de bacias hidrográficas”. Revista Educação Ambiental em Ação 21(79).

CIRILO, J.A. “CAWM – Campus Agreste Watershed Model. Federal University of Pernambuco”. Disponível em: <https://www.ufpe.br/web/grh/cawm>. Acesso em: 05 julho 2022.

CIRILO, J.A. *et al.* (2020). “Development and application of a rainfall-runoff model for semi-arid regions”. Brazilian Journal of Water Resources 25(15).

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2017. Disponível em: https://www.cprm.gov.br/sace/boletins/Parnaiba/20171116_10-20171116%20-%20103332.pdf. Acesso em: 14 julho 2022.

HIDROWEB - SNIRH. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. 2022. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 05 julho 2022.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. 2022. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais#>. Acesso em: 05 julho 2022.

LEITÃO, F.T.P.; SAMPAIO, A.S.; SÁ, P.E.F.; BATISTA, T.L.; ARAUJO, J.K. (2017). “Comparação de modelos hidrológicos utilizando o HEC-HMS” in Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis, 2017.

PERRIN, C., MICHEL, C., ANDRÉASSIAN, V. (2003). “Improved of a parsimonious model for streamflow simulation”. Journal of Hydrology (Amsterdam) 279(1-4), pp. 275 – 289.

KNIGHT, D. (2006). “Introduction to flooding and river basin modeling.”, in *River Basin Modeling for flood risk mitigation*. Org. por Knight, D. e Shamseldin, A., ed. Taylor & Francis, Londres, pp. 1 – 20.

KUCZERA, G.; RENARD, B.; THYER, M.; KAVETSKI, D. (2006). “There are no hydrological monsters, just models and observations with large uncertainties.” Hydrological Sciences Journal – Journal des Sciences Hydrologiques 55(6), pp. 980 – 991.

MORIASI, D.N.; ARNOLD, J.G.; VAN LIEW, M.W.; BINGNER, R.L.; HARMEL, R.D.; VEITH, T.L. (2007). “Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations”. American Society of Agricultural and Biological Engineers 50(3), pp. 885 – 900.

NOBRE, B.V.B. *et al.* (2021). “Oficina de Modelagem Hidrológica da UFPE: Avaliação Comparativa de Desempenho de Diferentes Modelos Aplicados em Bacias Hidrográficas do Nordeste” in Anais do XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte, Nov. 2021.