



## **XVI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE**

### **15º SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA**

#### **OFICINA DE MODELAGEM HIDROLÓGICA DA UFPE: APLICAÇÃO DE MODELOS CONCENTRADOS A GRANDES BACIAS – ESTUDO DE CASO DA BACIA DO ATLÂNTICO NORDESTE OCIDENTAL**

*Andréia Azevedo Abrantes de Oliveira<sup>1</sup>; Eduardo Luiz Chaves de Medeiros<sup>2</sup>; Luttemberg Ferreira de Araújo<sup>3</sup>; Elivânia de Araújo Silva<sup>4</sup>; Gisely Leite de Oliveira Silva<sup>5</sup>; José Almir Cirilo<sup>6</sup>*

**RESUMO** – Esse trabalho é direcionado à utilização de modelagem hidrológica aplicado a Bacia do Atlântico Nordeste ocidental através de três modelos de chuva-vazão: Campus Agreste Watershed Model (CAWM), HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System) e o GR4J (Génie Rural à 4 Paramètres Journalier). Sendo o principal foco da pesquisa avaliar o desempenho desses modelos nas sub bacias delimitadas nesse estudo. Na estruturação da pesquisa a bacia principal do objeto de estudo foi subdivida em quatro sub bacias, Sub bacia do Rio Itapecuru (3368); Sub bacia do Rio Grajaú (3338); Sub bacia do Rio Mearim (3329); Sub bacia do Rio Pindaré (3319). Após análise dos modelos empregados em cada uma das sub bacias, foi constatado um melhor desempenho para a sub bacia do Pindaré, quando comparada com as demais. Já em relação ao melhor desempenho entre os modelos hidrológicos, o CAWM apresentou superioridade em relação aos demais.

**Palavras-Chave:** CAWM, HEC-HMS, GR4J.

**ABSTRACT**–This work is directed to the use of hydrological modeling, applied to the West Northeast Atlantic Basin through three rainfall-runoff models: Campus Agreste Watershed Model (CAWM), HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System) and the GR4J (Génie Rural à 4 Paramètres Journalier). The main focus of the research is to evaluate the performance of these models in the sub-basins defined in this study. In the structuring of the research, the main basin of the object of study was subdivided into four sub basins, Sub basin of the Itapecuru River (3368); Grajaú River Sub basin (3338); Sub basin of the Mearim River (3329); Sub-basin of the Pindaré River (3319). After an analysis of the sub-models, a better performance was found for the Pindaré sub-basin, when analyzing the sub-models with each one. Regarding the best performance among the hydrological models, the CAWM showed superiority in relation to the others.

**Keywords:** CAWM, HEC-HMS, GR4J.

<sup>1</sup> Afiliação: Andreia Azevedo Abrantes de Oliveira; Rua Santa Clara, 210, Maurício de Nassau, Caruaru-PE; [andrea.abrantes@ufpe.br](mailto:andrea.abrantes@ufpe.br)

<sup>2</sup> Afiliação: Eduardo Luiz Chaves de Medeiros; (81) 99662-2390; [eduardo.luizm@ufpe.br](mailto:eduardo.luizm@ufpe.br)

<sup>3</sup> Afiliação: Luttemberg Ferreira de Araújo; (81) 98252-0898; [luttembergferreira@hotmail.com](mailto:luttembergferreira@hotmail.com)

<sup>4</sup> Afiliação: Elivânia de Araújo Silva; (81) 99936-0520; [elivania.araujo@ufpe.br](mailto:elivania.araujo@ufpe.br)

<sup>5</sup> Afiliação: Gisely Leite de Oliveira Silva; (81) 99853-9465; [gisely.leite@ufpe.br](mailto:gisely.leite@ufpe.br)

<sup>6</sup> Afiliação: José Almir Cirilo; Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil PPGE; [almir.cirilo@gmail.com](mailto:almir.cirilo@gmail.com)

## INTRODUÇÃO

O uso dos recursos hídricos e o planejamento ambiental relacionado a uma bacia hidrográfica exige o conhecimento sobre o regime hidrológico dos cursos d'água que a constitui, com a falta de informações suficientes para sua obtenção. A deficiência de dados hidrológicos de uma área de estudo se torna um obstáculo para o planejamento de ações que atendam às necessidades dessa área.

Uma bacia hidrográfica, considerada um sistema físico com o volume de água precipitado como entrada e o volume de água escoado como saída, fornece uma unidade física bem definida para estudos hidrológicos (PETTS & FOSTER, 1990). Dados hidrológicos, como séries históricas de vazão e dados fluviométricos, são essenciais para a gestão dos recursos hídricos e diversos setores fundamentais para a economia, como geração de energia, irrigação, além de estudos para dimensionamento de infraestruturas hidráulicas de pequeno e grande porte, como drenagem urbana e projetos de barragem. Esses dados podem ser utilizados para o acompanhamento de ocorrência de eventos hidrológicos críticos, como inundações e secas. Atualmente, há vários órgãos responsáveis por coletar esses dados e disponibilizá-los (ANA, 2022). Os dados hidrometeorológicos são obtidos por meio de registros diários e medições feitas em campo por profissionais especializados na área.

Um modelo hidrológico funciona como uma ferramenta utilizada na representação de fenômenos que fazem parte do sistema físico de uma bacia hidrográfica, prevendo as consequências de diferentes cenários, com relação aos dados reais observados (TUCCI, 1998). Os modelos podem servir como uma ferramenta para auxiliar os estudos dos profissionais da área de recursos hídricos, possibilitando a prevenção do comportamento da bacia de estudo sob diversas condições. Um fator limitante dos modelos hidrológicos é a dificuldade de se representar todos os processos que ocorrem na bacia por meio de equações (LIMA, 2011).

Dessa forma, o presente artigo é resultado da Oficina de Modelagem Hidrológica e Hidrodinâmica da disciplina “Modelagem hidrológica e hidrodinâmica”, do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco. A Oficina tem como resultado um conjunto de artigos que comparam o desempenho de três modelos hidrológicos aplicados a grandes bacias hidrográficas, sendo assim, a região analisada no presente estudo foi a Bacia Hidrográfica do Atlântico Nordeste Ocidental. Foram utilizados os modelos chuva-vazão Campus Agreste Watershed Model (CAWM) (CIRILO *et. al.*, 2020, GOMES *et. al.*, 2021), HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System) e o GR4J (Génie Rural à 4 Paramètres Journalier), com o objetivo de comparar o desempenho desses modelos hidrológicos nas sub-bacias estudadas.

Conforme explicitado, o desafio da Oficina de Modelagem da UFPE 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.

## METODOLOGIA

### Área de estudo

A área de estudo compreende a grande Bacia Hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental, que se situa no estado do Maranhão (91% da área da bacia) e uma pequena parcela no oriente do Estado do Pará (10% da área da bacia). Os principais cursos hídricos dentro da bacia principal e que desses fazem uma subdivisão em bacias com áreas menores são os rios: Itapecuru, Grajaú, Mearim, Pindaré, Munim, Pericumã, Turiaçu e Gurupi (ANA, 2007). A seguir, na figura 01, é apresentada a delimitação da bacia em questão.

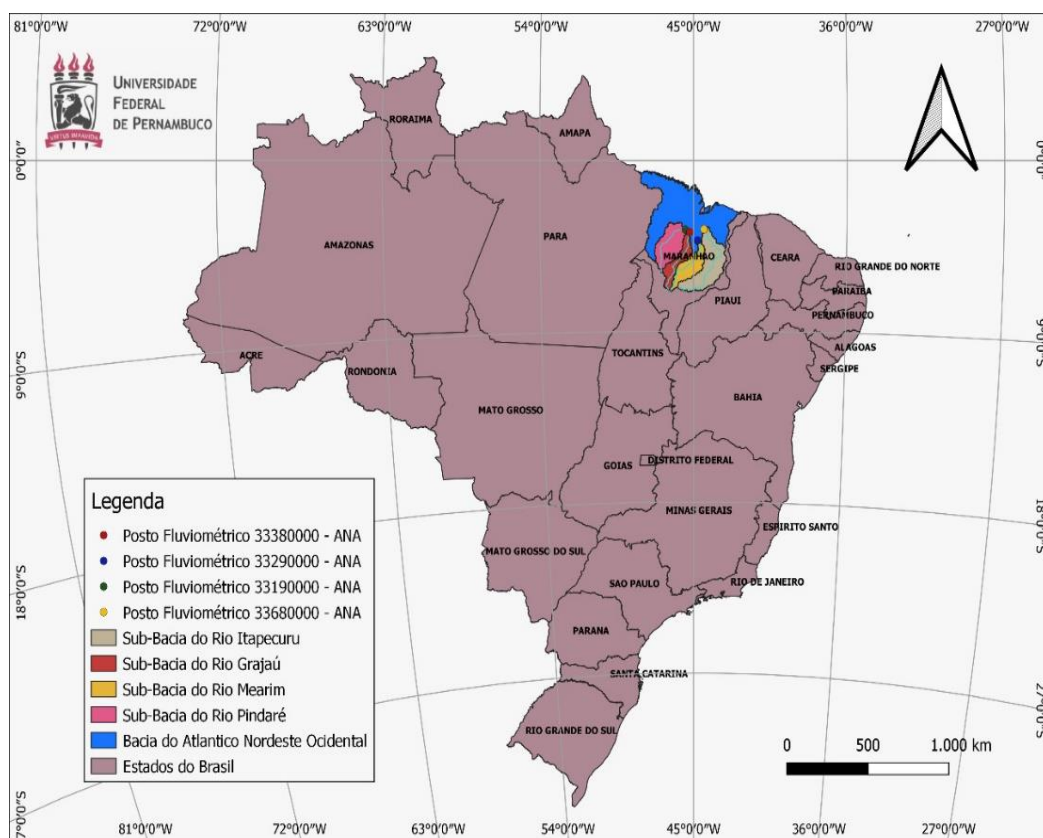


Figura 1- Localização da Bacia Hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental. Fonte: Autores (2022).

Para auxiliar no estudo, foi utilizado como recurso as ferramentas do IPH-Hydro Tools para efetuar a delimitação da bacia principal (Atlântico Nordeste Ocidental) em sub bacias, dessa forma, foram geradas as seguintes divisões: Sub bacia do Rio Itapecuru (3368); Sub bacia do Rio Grajaú (3338); Sub bacia do Rio Mearim (3329); Sub bacia do Rio Pindaré (3319). Vale a ressalva que após o emprego do recurso para delimitação, outras áreas também foram geradas, porém, devido à falta de

dados de vazão e chuva em períodos longos, optou-se em não fazer uso desses dados devassados. A tabela 01, mostra as características principais dessas sub bacias.

Tabela 1- Características físicas da Bacia Hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental

Bacia Hidrográfica	Sub-bacia do Rio Itapecuru (3368)	Sub-bacia do Rio Grajaú (3338)	Sub-bacia do Rio Mearim (3329)	Sub-bacia do Rio Pindaré (3319)
Área (km <sup>2</sup> )	49.817	20.325	25.445	35.165
Comprimento total de drenagem (km)	16.872	6.843	8.815	11.276
Declividade do rio principal (m/m)	0,000709	0,000682	0,000783	0,000744

Fonte: Autores (2022).

## Modelos Hidrológicos

Considerando a complexa representação da análise da precipitação e vazão em uma bacia hidrográfica e a falta de dados bem distribuídos no espaço e no tempo, esse estudo consiste na aplicação de modelos matemáticos que simplifiquem os processos hidrológicos para a da Bacia Hidrográfica do Atlântico Nordeste Ocidental, promovendo simulações hidrológicas de três modelos concentrados em quatro sub bacias. Dessa forma, foi estruturada nas seguintes etapas, identificação da área de estudo, com descrição física dos dados necessários para realizar a modelagem, levantamento de dados hidrometeorológicos, e calibração dos parâmetros, para validação dos resultados. Os três softwares utilizados como modelos chuva-vazão foram: Campus Agreste Watershed Model (CAWM) (CIRILO *et. al.*, 2020, GOMES *et. al.*, 2021); HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System) e o GR4J (Génie Rural à 4 Paramètres Journalier).

O HEC- HMS (Hydrologic Modelling System - Hydrologic Engineering Center) pode ser indicado como um software ou sistema que usa a modelagem hidrodinâmica para desenvolver modelos de bacias hidrológicas com a representação gráfica e matemática dos processos. Este sistema inclui diversos métodos de estimativa de chuvas efetivas, hidrogramas de respostas de bacias as simulações imputadas, análise de propagação de cheias em rios e reservatórios, também permite a simulação contínua e de eventos isolados. Possui interface dividida em quadro partes: painel para visualização dos objetos hidrológicos, painel para informações, edição e características juntamente com os métodos, painel com mensagens do programa sobre seu funcionamento, onde são indicados também os erros e alertas, painel com o mapa esquemático da bacia.

O CAWM (Campus Agreste Watershed Model) é um modelo do tipo concentrado que foi desenvolvido na Universidade Federal de Pernambuco. As principais vantagens são, a reduzida quantidade de parâmetros na calibração do modelo, além do uso de atributos físicos da bacia na

determinação dos parâmetros de referências. Como dados de entrada podemos destacar dois conjuntos de bases: Características hidrologias da bacia (séries de precipitações, evapotranspiração e vazão); Características físicas da bacia (cuja extração é realizada a partir do mapeamento do solo, imagens de satélite, MDT-Modelo Digital do Terreno). Esse modelo teve uma versão atualizada nos últimos anos, já que primeira versão do modelo (CAWM IV), foi desenvolvida para bacias hidrográficas localizadas em regiões semiáridas. Em contrapartida a última versão do CAWM- CAWM V é adaptada a regiões de solos mais profundos que possibilitam a manutenção de vazões de bases nos períodos de estiagem, o que, permite retratar os processos de fluxo em bacias de rios perenes.

O CAWM V possui como estrutura sistêmica um reservatório subterrâneo que é alimentado quando a reserva de água do solo atinge a saturação. Dessa forma, inicia-se um fluxo de percolação profunda ( $P_g$ ) para alimentar o reservatório subterrâneo, acrescentado a lâmina acumulada ( $G$ ). Em seguida o fluxo ( $F_g$ ) alimenta o reservatório (rio) e soma-se ao montante das parcelas de  $F_d$  e  $F_s$ . O modelo possui três reservatórios, sendo eles, o reservatório do solo ( $S$ ), o reservatório da calha fluvial ( $R$ ) e o reservatório subterrâneo ( $G$ ), conforme figura 2.

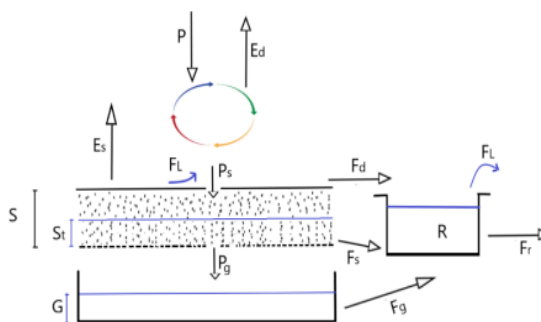


Figura 2- Esquema do Modelo do CAWM V. Fonte: Ferraz (2019).

O GR4J é um modelo hidrológico concentrado diário, sua estrutura matemática é composta por dois reservatórios não lineares, sendo um reservatório de geração de escoamento e outro um reservatório confluyente. Assim como outros modelos supracitados nesse artigo, o GR4J tem como principal vantagem a reduzida quantidade de parâmetros a ser otimizados, que dessa forma, o torna um mecanismo mais simples de operação (FENICIA et al., 2014). O modelo em questão apresenta apenas quatro parâmetros para serem otimizados na etapa de calibração, sendo eles: X1 - a capacidade máxima de produção (mm); X2 - o coeficiente de troca de água da bacia (mm dia-1); X3 - a capacidade máxima de um dia para o repositório de roteamento (mm); e X4 - a base de tempo do hidrograma (dias). As variáveis de entrada são a chuva ( $P$ ) e a evapotranspiração potencial ( $E$ ), após a inserção das variáveis iniciais, são realizadas operações matemáticas em reservatórios fictícios que simulam o efeito do mecanismo que envolve o ciclo hidrológico em uma bacia hidrográfica (PERRIN et al., 2003).



## Parâmetros de Entrada

Antes de iniciar o processo de alimentação de dados nos modelos hidrológicos se fez necessário obter e organizar as séries históricas vazões e precipitações, esses por sua vez foram retirados pelo complemento do Hidroweb Downloader do programa QGIS. Já para os dados de evapotranspiração, foi utilizado as normais climatológicas do Brasil fazendo uma média mensal de cada posto pluviométrico que estava inserido na área da sub bacia.

Na tabela abaixo são expostos os períodos para cada sub bacia com base nos dados disponíveis de chuva e vazão para cada área. Vale destacar que dentre o período de dados que foram aplicados, 50% deles foram utilizados na calibração, sendo esse valor padronizados com os mesmos intervalos de tempo para os três modelos hidrológicos, tabela 2.

Tabela 2- Período de Calibração para as sub bacias.

Bacia Hidrográfica	Sub-bacia do Rio Itaipuru (3368)	Sub-bacia do Rio Grajaú (3338)	Sub-bacia do Rio Mearim (3329)	Sub-bacia do Rio Pindaré (3319)
<b>Período total</b>	1968-2021	1970-2021	1975-2021	1971-2021
<b>Período Calibração</b>	1968-1994	1970-1995	1975-1998	1971-2006

Fonte: Autores (2022).

## Métricas de Desempenho

Visando avaliar os desempenhos dos três modelos utilizados neste estudo, recorre-se a utilização de indicadores de eficiência. Para realização desse processo, são utilizados alguns índices de desempenho estatísticos, dentre eles: Percentual de tendência – Pbias; coeficiente de Nash-Stucliffe – NSE, NSEsqrt, NSElog, Coeficiente de determinação -  $R^2$  e Razão entre o RMSE e o Desvio Padrão – RSR. A faixa de valores considerados satisfatórios para avaliar o desempenho dos modelos seguiu a classificação sugerida por Moriasi *et al.* (2007), mostradas na Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação dos coeficientes de eficiência.

Classificação	NSE	PBIAS (%)	$R^2$	RSR
Muito boa	$0,75 < NSE \leq 1,00$	$PBIAS < \pm 10$	$0,80 < R^2 \leq 1,00$	$0,00 < RSR \leq 0,50$
Boa	$0,65 < NSE \leq 0,75$	$\pm 10 < PBIAS \leq \pm 15$	$0,70 < R^2 \leq 0,80$	$0,50 < RSR \leq 0,60$
Satisfatória	$0,50 < NSE \leq 0,65$	$\pm 15 < PBIAS \leq \pm 25$	$0,60 < R^2 \leq 0,70$	$0,60 < RSR \leq 0,70$
Insatisfatória	$NSE \leq 0,50$	$PBIAS \geq \pm 25$	$R^2 \leq 0,60$	$RSR \geq 0,70$

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

O Pbias é expresso em porcentagem, valores positivos são indicativos de subestimação do modelo e valores negativos de superestimação do modelo. Para o índice NSEsqrt, o melhor desempenho é visto quanto mais próximo da unidade estiver a variável.

## RESULTADO E DISCUSSÕES

Para cada modelo, e para cada sub-bacia, as séries históricas de precipitação e vazão foram divididas em período de calibração e período de validação. Na Tabela a seguir é possível visualizar os índices de desempenho para cada modelo e período aplicado em cada uma das quatro sub-bacias. No período de calibração de cada sub-bacia, o modelo CAWM e GR4J utilizaram a maximização do parâmetro NSE como função objetivo, enquanto o HEC-HMS otimizou os parâmetros e função-objetivo que foram indicados pelos métodos escolhidos.

Tabela 4 – Índices de desempenho para os modelos CAWM, HEC-HMS e GR4J.

PARÂMETROS DO MODELO CAWM								
	Sub-bacia do Rio Itapecuru (3368)		Sub-bacia do Rio Grajaú (3338)		Sub-bacia do Rio Mearim (3329)		Sub-bacia do Rio Pindaré (3319)	
	CALIBRAÇÃO	VERIFICAÇÃO	CALIBRAÇÃO	VERIFICAÇÃO	CALIBRAÇÃO	VERIFICAÇÃO	CALIBRAÇÃO	VERIFICAÇÃO
Data Inicial	03/06/1968	18/12/1994	12/02/1970	23/10/1995	13/09/1975	08/08/1998	27/12/1971	25/08/2006
Data Final	17/12/1994	30/06/2021	22/10/1995	30/06/2021	07/08/1998	30/06/2021	24/08/2006	30/06/2021
<b>NSE</b>	0.64	0.24	0.83	0.77	0.60	0.53	0.89	0.84
<b>NSEsqrt</b>	0.27	0.19	0.67	0.75	0.60	0.54	0.89	0.86
<b>NSElog</b>	-5.07	-2.96	-0.10	0.38	0.47	0.50	0.80	0.69
<b>Pbias</b>	18.25	53.34	-6.10	-0.20	2.58	16.81	1.15	-16.11
<b>RSR</b>	0.60	0.87	0.41	0.47	0.63	0.69	0.34	0.40
<b>R<sup>2</sup></b>	0.76	0.71	0.83	0.78	0.61	0.61	0.89	0.87
PARÂMETROS DO MODELO HEC-HMS								
	Sub-bacia do Rio Itapecuru (3368)		Sub-bacia do Rio Grajaú (3338)		Sub-bacia do Rio Mearim (3329)		Sub-bacia do Rio Pindaré (3319)	
	CALIBRAÇÃO	VERIFICAÇÃO	CALIBRAÇÃO	VERIFICAÇÃO	CALIBRAÇÃO	VERIFICAÇÃO	CALIBRAÇÃO	VERIFICAÇÃO
Data Inicial	03/06/1968	18/12/1994	12/02/1970	23/10/1995	13/09/1975	08/08/1998	27/12/1971	25/08/2006
Data Final	17/12/1994	30/06/2021	22/10/1995	30/06/2021	07/08/1998	30/06/2021	24/08/2006	30/06/2021
<b>NSE</b>	0.54	0.52	0.74	0.72	0.64	0.58	0.85	0.87
<b>NSEsqrt</b>	0.65	0.56	0.74	0.78	0.14	0.10	0.86	0.86
<b>NSElog</b>	0.66	0.53	0.63	0.78	-4.49	-3.92	0.67	0.05
<b>Pbias</b>	9.59	25.19	10.13	24.08	-18.65	-4.09	-1.06	-11.47
<b>RSR</b>	0.68	0.69	0.51	0.53	0.60	0.35	0.38	0.35
<b>R<sup>2</sup></b>	0.59	0.56	0.75	0.74	0.68	0.66	0.85	0.90
PARÂMETROS DO MODELO GR4J								
	Sub-bacia do Rio Itapecuru (3368)		Sub-bacia do Rio Grajaú (3338)		Sub-bacia do Rio Mearim (3329)		Sub-bacia do Rio Pindaré (3319)	
	CALIBRAÇÃO	VERIFICAÇÃO	CALIBRAÇÃO	VERIFICAÇÃO	CALIBRAÇÃO	VERIFICAÇÃO	CALIBRAÇÃO	VERIFICAÇÃO
Data Inicial	03/06/1968	18/12/1994	12/02/1970	23/10/1995	13/09/1975	08/08/1998	27/12/1971	25/08/2006
Data Final	17/12/1994	30/06/2021	22/10/1995	30/06/2021	07/08/1998	30/06/2021	24/08/2006	30/06/2021
<b>NSE</b>	0.73	0.68	0.79	0.78	0.60	0.69	0.87	0.89
<b>NSEsqrt</b>	0.75	0.73	0.79	0.84	0.62	0.69	0.90	0.91
<b>NSElog</b>	0.68	0.67	0.65	0.83	0.59	0.68	0.85	0.91
<b>Pbias</b>	-3.51	1.34	-5.58	-2.54	2.97	7.69	-1.27	-13.97
<b>RSR</b>	0.52	0.57	0.46	0.47	0.63	0.56	0.36	0.33
<b>R<sup>2</sup></b>	0.73	0.68	0.79	0.78	0.60	0.70	0.87	0.92

Fonte: Autores (2022).

As observações realizadas a partir dos índices estatísticos são confirmadas pelos gráficos comparativos dos modelos para cada sub-bacia. Na Figura 3 é possível observar a vazão média do

período de calibração por dia do ano para os três modelos, de cada sub-bacia, de forma comparativa com a vazão observada do posto fluviométrico.

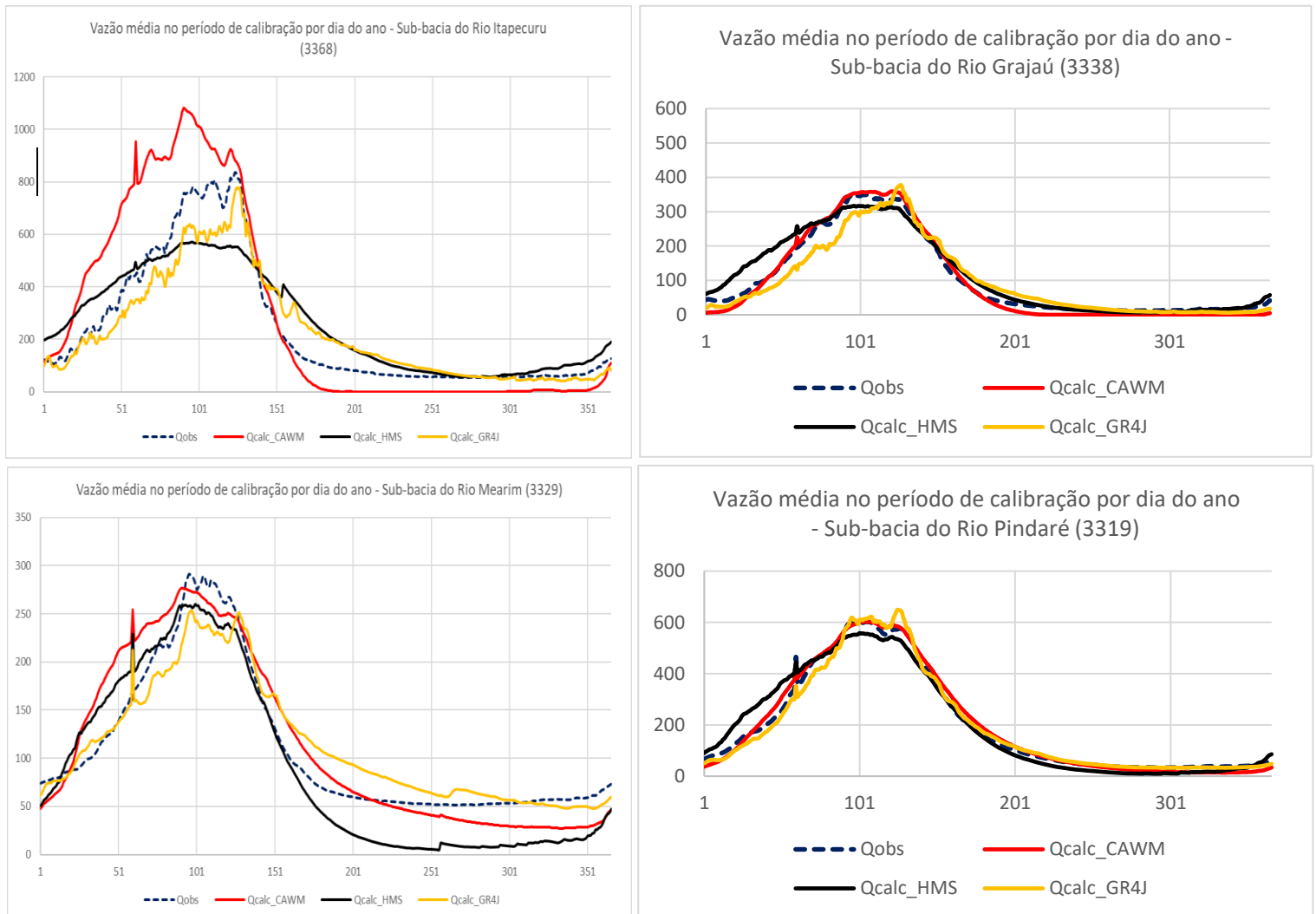


Figura 3- Vazão média do período de calibração por dia do ano de cada sub-bacia. Sub-bacia do Rio Itapecuru (3368) (a), Sub-bacia do Rio Grajaú (3338) (b), Sub-bacia do Rio Mearim (3329) (c) e Sub-bacia do Rio Pindaré (3319) (d). Na sequência da esquerda para a direita. Fonte: Autores (2022).

Analisando visualmente a figura, percebe-se que a qualidade do ajuste das vazões calculadas às observadas (linha tracejada) e simuladas, por dia juliano, variou de modelo para outro.

O melhor desempenho geral foi obtido na sub-bacia de Pindaré, com destaque para o modelo CAWM, que apresentou NSE de 0,87 na calibração e 0,84 na validação, além de demais índices dentro da faixa de bons resultados para todos os modelos especialmente o CAWM. Destaca-se também o PBIAS (1,15) alcançado para a calibração nessa bacia, mostrando uma baixa tendência à subestimação da série de vazões para o CAWM, e baixa superestimação para os demais modelos.



Para a sub-bacia de Pindaré, os valores de Pbias no período de validação, apresentou resultados menos satisfatório que o período de calibração.

A sub-bacia do rio Grajaú apresentou um bom NSE, 0,83 e 0,77 durante a calibração e validação, respectivamente para o modelo CAWM. Valores insatisfatórios de Pbias e RSR podem ser observados para o modelo do HEC-HMS, tanto no período de calibração como de verificação.

A sub-bacia do rio Itapecuru deu origem aos piores índices para os três modelos estudados quando comparada com as demais sub-bacias, possuindo índices dentro da classificação “boa”, apenas para o modelo GR4J. Na Figura 1 é possível observar a comparação entre os modelos e os dados observados.

A Figura 2 e 3 a seguir, apresentam gráficos, sendo na primeira, a curva de permanência do período global da vazão observada e calcula pelos três métodos, enquanto na segunda figura observa-se os gráficos de chuva-vazão para o período de verificação dos modelos CAWM, HEC\_HMS e GR4J, ambas figuras possuem dados de simulação da sub-bacia do Rio Pindaré (3319).

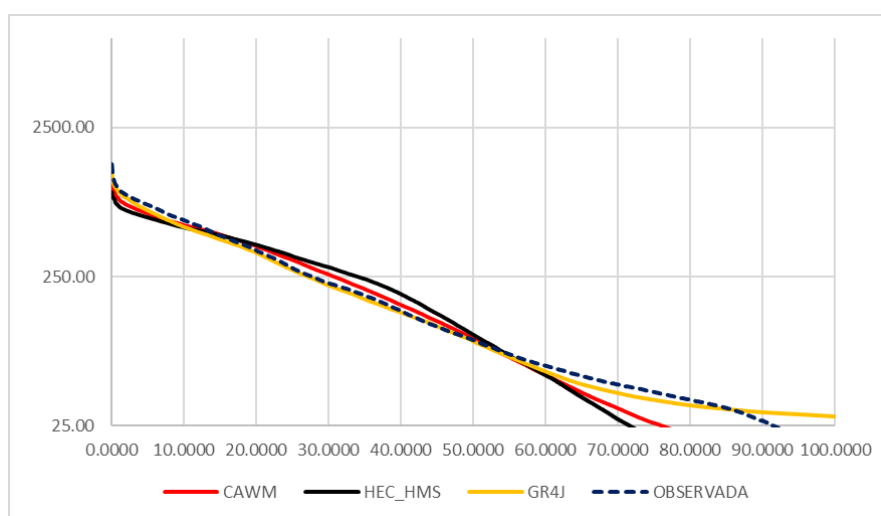


Figura 4 – Curva de permanência do período global da vazão observada e calculada pelos três modelos para a sub-bacia do Rio Pindaré (3319). Fonte: Autores (2022).

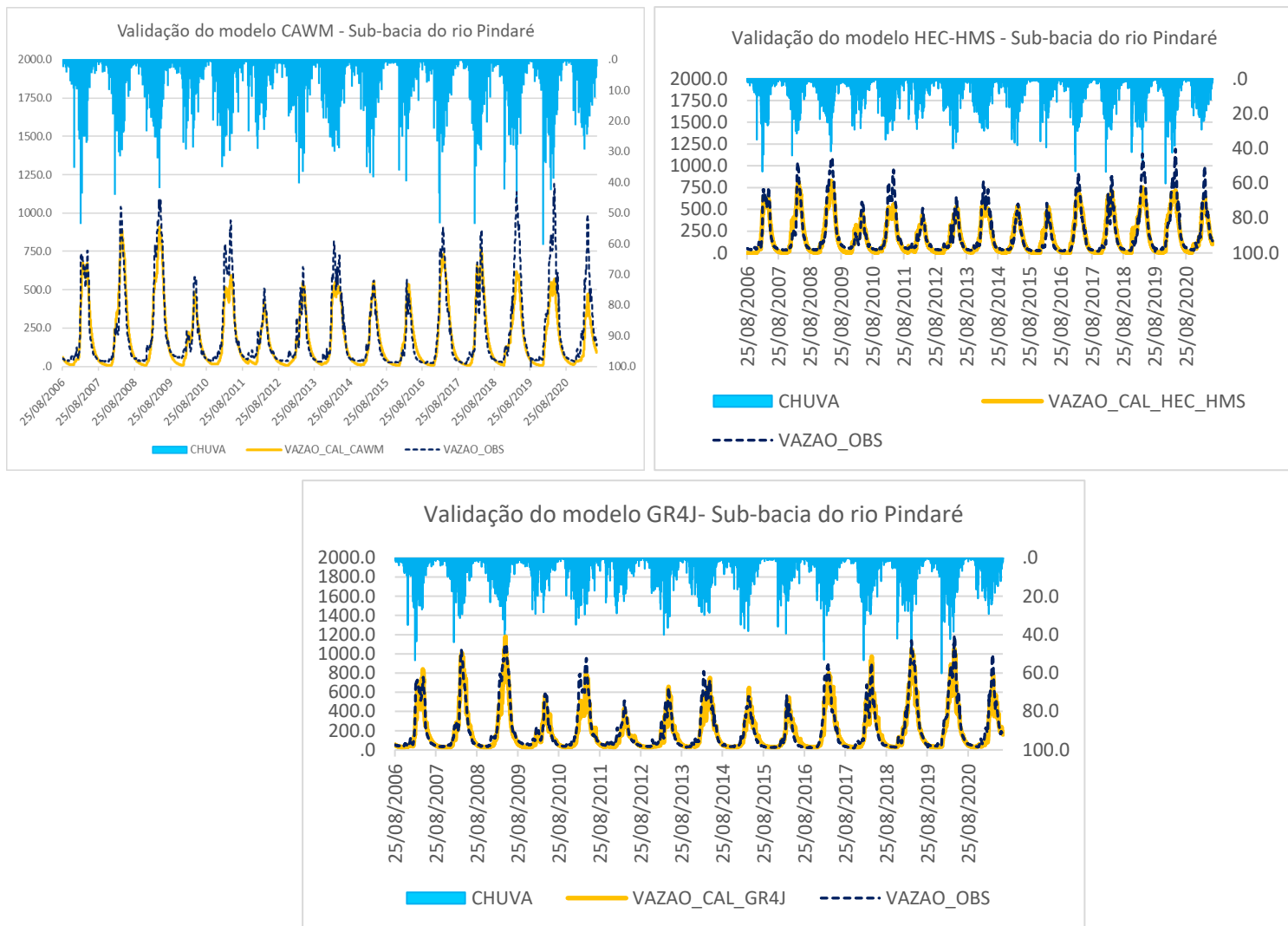


Figura 5 – Chuva-vazão para o período de verificação dos modelos CAWM, HEC-HMS e GR4J, respectivamente, para a sub-bacia do Rio Pindaré (3319). Fonte: Autores (2022).

## CONCLUSÕES

Mediante a análise de diferentes sub-bacias, o melhor desempenho foi para a sub-bacia do Pindaré para todos os modelos. De uma forma geral, pode-se dizer que os modelos GR4H, HEC-HMS e CAWM se ajustaram razoavelmente para os eventos analisados da bacia do Atlântico Nordeste Ocidental.

A análise é prejudicada pela baixa quantidade de dados de vazão disponíveis para outras sub-bacias, ocorrendo de estações telemétricas não possuírem registros de vazões ou as possuírem em quantidade insuficiente para a validação e aprimoramento da calibração. Entretanto, evidencia-se que

as ferramentas podem ser úteis, por sua relativa simplicidade, para apoio às ações de planejamento e defesa civil nesta e em outras bacias hidrográficas.

Conclui-se que os modelos hidrológicos concentrados utilizados conseguiram representar os processos físicos e climáticos nas sub-bacias analisadas. O modelo CAWM apresentou superioridade em comparação ao GR4J e o HEC-HMS. Esta constatação foi verificada através de índices de desempenho estatísticos e da análise visual gráfica entre os dados calculados e observados. Ressalte-se, porém, que a calibração depende da experiência do modelador. Assim, a análise comparativa com pequena amostra não pode ser conclusiva nesse sentido.

## REFERÊNCIAS

ANA. Hidroweb. **Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA**. 2022. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>>. Acesso em: 10 de julho de 2022.

ANA/SPR. A Navegação Interior e sua Interface com o Setor de Recursos Hídricos no Brasil e Aproveitamento do Potencial Hidráulico para Geração de Energia no Brasil / **Agência Nacional de Águas - ANA**. Nota Técnica. Brasília : ANA, SPR, 2007.

CIRILO, J. A. *et. al*. Development and application of a rainfall-runoff model for semiarid regions. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)**, v. 25, pp. 1-19. 2020.

FENICIA, F.; KAVETSKI, D.; SAVENIJE, H. H. G.; CLARK, M. P.; SCHOUUPS, G.; PFISTER, L.; FREER, J. Catchment properties, function, and conceptual model representation: Is there a correspondence? **Hydrological Processes**, v. 28, n. 4, p. 2451–2467, 2014.

GOMES, M. M. D. A.; VERÇOSA, L. F. M.; CIRILO, J. A. Hydrologic models coupled with 2D hydrodynamic model for high-resolution urban flood simulation. **Natural Hazards**. 2021. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04817-3>.

LIMA, L. S. de. Implementação de um modelo hidrológico distribuído na plataforma de modelagem dinâmica. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de sistemas Ambientais), **Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG**, 95p. 2011.

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. **Transactions of the ASABE**, v. 50, n. 3, p. 885–900, 2007.

PETTS, G. & FOSTER, I. Rivers and Landscape. **The Athenaeum Press**, 3 ed., New Castle, Great Britain, 1990.

PERRIN, C., MICHEL, C., & ANDRÉASSIAN, V. (2003). Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. **Journal of Hydrology** (Amsterdam), 279(1-4), 275-289. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00225-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00225-7).

TUCCI, C. E. M. Modelos hidrológicos, **Ed. Universidade/UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, 668p. 1998.