



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Aplicação da Modelagem Hidrológica na Gestão dos Recursos Hídricos: Uma Revisão Bibliográfica

Luttemberg Ferreira de Araújo¹, José Almir Cirilo², Josielly Braz da Silva³, Dênia Santos de Oliveira⁴

¹Doutorando do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil. luttemberg.ferreira@ufpe.br. ²Professor Dr. Titular, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil. jose.cirilo@ufpe.br. ³Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil. josielly.braz@ufpe.br. ⁴Mestre no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, PE, Brasil. denia.santos@ufpe.br.

Artigo recebido em 07/03/2024 e aceito em 08/04/2024.

RESUMO

A modelagem hidrológica é uma importante ferramenta de apoio para decisões que envolvem a gestão dos recursos hídricos e a manutenção da água potável. Diante disso, este estudo desenvolve uma revisão sistemática (metodologia PRISMA- *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis* 2020) evidenciando o uso de modelos hidrológicos e sua eficiência na avaliação de fenômenos hidrológicos. Através da seleção de artigos abrigados nas plataformas de periódicos digitais *Scopus* e *Web of Science* (WoS), publicados a partir do ano de 1995, foi possível avaliar: aplicações práticas de diversos modelos hidrológicos, conclusões dos estudos, e, eficiência e limitações para bacias hidrográficas áridas, semiáridas, úmidas e semiúmidas, localizadas em diferentes regiões do mundo. Foram avaliadas 28 publicações e grande parte abordando bacias hidrográficas localizadas na China. Resultados mostraram que a grande maioria dos modelos hidrológicos requerem uma extensa quantidade de dados para sua calibração e validação, o que limita alguns estudos devido a carência de dados confiáveis para embasamento da interpretação de eventos e previsão das ocorrências futuras. Os modelos que mais foram aplicados em pesquisas ao longo da revisão foram: o HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System), o TOPMODEL (Topography Based Hydrological Model) e, principalmente, o Xinanjiang, forma aplicados respectivamente, 6, 3 e 10 vezes no grupo de artigos deste estudo. E ainda, destaca-se o CAWM IV (Campus Agreste Watershed Model) por ser um modelo que aborda uma modelagem singular com quantidade de dados de entrada reduzida, se comparado aos demais modelos, demonstrando uma eficiência satisfatória (55 a 92% dos eventos avaliados) na modelagem de bacias hidrográficas localizadas em regiões secas, e com potencial de aplicação em áreas úmidas, possibilitando amplas aplicações na interpretação de fenômenos hidrológicos e na gestão dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Escoamento Superficial. Inundações. Modelo Chuva-Vazão. Modelos Hidrológicos. PRISMA.

Application of Hydrological Modeling in Water Resources Management: A Systematic Review

ABSTRACT

Hydrological modeling is an important support tool for decisions involving the management of water resources and the maintenance of drinking water. Therefore, this study develops a systematic review (PRISMA methodology - Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis 2020) highlighting the use of hydrological models and their efficiency in evaluating hydrological phenomena. Through the selection of articles hosted on the digital journal platforms *Scopus* and *Web of Science* (WoS), published since 1995, it was possible to evaluate: practical applications of various hydrological models, study conclusions, and efficiency and limitations for basins arid, semi-arid, humid and semi-humid river basins, located in different regions of the world. 28 publications were evaluated, most of which addressed river basins located in China. Results showed that the vast majority of hydrological models require an extensive amount of data for their calibration and validation, which limits some studies due to the lack of reliable data to support the interpretation of events and prediction of future occurrences. The models that were most applied in research throughout the review were: the HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System), the TOPMODEL (Topography Based Hydrological Model) and, mainly, the Xinanjiang, applied respectively, 6, 3 and 10 times in the group of articles in this study. Furthermore, CAWM IV (Campus Agreste Watershed Model) stands out for being a model that addresses

a unique modeling with a reduced amount of input data, compared to other models, demonstrating satisfactory efficiency (55 to 92% of the events evaluated) in the modeling of river basins located in dry regions, and with potential for application in humid areas, enabling broad applications in the interpretation of hydrological phenomena and the management of water resources. Keywords: Surface Runoff. Floods. Rain-Flow Model. Hydrological Models. PRISM.

Introdução

A conscientização sobre a importância da preservação da água e a implementação de práticas sustentáveis são cruciais para garantir a disponibilidade desse recurso vital para as gerações futuras (Nyssen et al., 2010). Devido à preocupação com a manutenção hídrica, constata-se que houve um aumento de estudos relacionadas à conservação e gestão da água potável em relação aos anos anteriores, a pauta hídrica tem sido explorada mais ambientalmente e abordagens relacionadas à contaminação deste recurso têm recebido mais atenção (Terzi e Dündar, 2020).

Sendo assim, a gestão adequada da água é essencial para equilibrar as necessidades humanas, econômicas e ambientais, promovendo o uso sustentável desse recurso finito (Nakagawa, 2020). Ainda, a gestão sustentável da água não apenas preserva esse recurso fundamental, mas também contribui para a resiliência dos ecossistemas, a segurança alimentar e o desenvolvimento econômico a longo prazo (Qi et al., 2022). É um desafio global que requer esforços coordenados em nível local, nacional e internacional (Ringeltaube et al., 2002). Até mesmo em países desenvolvidos a um grande avanço a ser alcançado no que diz respeito a concepção e implementação de políticas com pautas globais de desenvolvimento sustentável (Tsani et al., 2020).

Portanto, a aplicação de técnicas, que geram dados topográficos, como a geodésia, cartografia, sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica (SIG) para coletar, analisar e interpretar dados geoespaciais (Abdivaitov et al., 2021), alinhadas com recursos tecnológicos, desempenham um papel fundamental na promoção de práticas sustentáveis na gestão de recursos hídricos, contribuindo para a preservação e utilização eficiente desse importante recurso natural (Prasad et al., 2023). O estudo do escoamento superficial é imprescindível para compreender a influência do relevo no fluxo de água e no desencadeamento de erosões, além disso, a topografia do terreno e a ação antrópica, no que tange o uso e ocupação do solo, são determinantes na compreensão da dinâmica hidrológica que envolve as redes de drenagem na superfície do solo (Mathias et al., 2022).

Um dos instrumentos usados na gestão dos recursos hídricos, especialmente para entender o comportamento hidrológico das bacias

hidrográficas são os modelos de simulação matemática, com aplicações como: gestão de cheias e secas; avaliação de impactos ambientais; gerenciamento da qualidade de água e monitoramento de reservatórios (Ricci e Medeiros, 2012). Desse modo, compreender as alterações climáticas e seus impactos ambientais por meio da modelagem hidrológica é de grande relevância. Pois a partir dos resultados obtidos permitem a proposição de medidas adequadas para melhorar a gestão dos recursos hídricos (Guyasa et al., 2024).

A aplicação eficiente de modelos do tipo chuva-vazão requer uma abordagem integrada, envolvendo dados observacionais, técnicas de modelagem avançadas e consideração de cenários futuros. Pois, os dados de entrada influenciam a eficiência da calibração e validação da modelagem hidrológica, podendo ter a interpretação dos eventos avaliados comprometida de acordo com a inconsistência das informações consideradas. Ao considerar a simulação de eventos e seu comportamento ao longo do tempo em resposta as distintas variáveis hidrológicas, os gestores de recursos hídricos podem promover uma gestão sustentável, equitativa e eficiente dos recursos hídricos.

Contudo, o uso da modelagem hidrológica é essencial para ações de implantação de sistemas hidráulicos, monitoramento e tomada de decisões no que tange o uso e gestão dos recursos hídricos. O Brasil ainda tem um longo percurso a percorrer para alcançar uma posição de referência diante dos demais países no gerenciamento da água, apesar de deter grande parte deste recurso existente no planeta. Tem-se como referência no uso e gestão da água os países europeus, como a Holanda, e os Estados Unidos, e um destaque recente e inovador é a China, com implantação de tecnologias eficazes na gestão da água (Alves et al., 2023).

Dessa forma, o presente estudo tem como propósito realizar uma revisão bibliográfica sistemática do desempenho da modelagem hidrológica como ferramenta de gestão dos recursos hídricos, especificamente em modelos dos tipos chuva-vazão, apontando uma compreensão das práticas associadas a essa área. Assim como, demonstrar os múltiplos usos e aplicações de modelos hidrológicos diversos empregados em distintas bacias em regiões do mundo com diferentes características climáticas dentro do grupo de pesquisa estabelecido na metodologia.

Material e métodos

Com o propósito de avaliar o desempenho da modelagem hidrológica na gestão dos recursos hídricos no que concerne os modelos do tipo chuva-vazão, a pesquisa bibliográfica foi fundamentada no método Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis (PRISMA) (Page et al., 2021). Assim, esta metodologia de revisão sistemática é utilizada com o objetivo de conduzir e relatar revisões de literatura de forma transparente, eficaz e rigorosa. O PRISMA foi desenvolvido por um grupo de especialistas, onde esse grupo colaborativo trabalhou para estabelecer padrões claros na elaboração e apresentação de revisões sistemáticas, promovendo a consistência e a qualidade da literatura científica (Liberati et al., 2009; Shamseer et al., 2015).

Segundo Shamseer et al., 2015, o processo de revisão através do PRISMA pode ser realizado em quatro etapas (identificação, seleção, elegibilidade e inclusão para análise), contribuindo assim para a transparência, reprodutibilidade e validade da revisão.

- **Identificação:** antes de iniciar a revisão sistemática, é essencial desenvolver um protocolo detalhado que descreva os objetivos, critérios de inclusão e exclusão, estratégias de busca e métodos de avaliação de qualidade dos trabalhos. Em seguida, realiza-se uma busca em bases de dados acadêmicas, periódicos, entre outros.

- **Seleção:** etapa em que é realizada uma triagem inicial dos resultados da busca, examinando os títulos, resumos e palavras-chave para identificar os estudos potencialmente relevantes. Assim, os estudos considerados relevantes passam por uma avaliação detalhada, com a análise completa dos textos para determinar se atendem aos critérios de inclusão especificados no protocolo.

- **Elegibilidade:** os critérios de inclusão e exclusão são aplicados rigorosamente para garantir a seleção de estudos que abordam diretamente a pergunta de pesquisa e atendem aos padrões de qualidade estabelecidos. Em caso de divergências entre os revisores sobre a elegibilidade dos estudos, essas são resolvidas por meio de discussão e consenso.

- **Inclusão para análise:** as informações relevantes são extraídas dos estudos incluídos usando formulários padronizados. Isso geralmente incluem detalhes sobre participantes, intervenções, resultados e métodos do estudo. Os estudos incluídos são avaliados quanto à qualidade metodológica. Essa avaliação pode envolver a aplicação de ferramentas específicas para

diferentes tipos de estudos. Os resultados são sintetizados e apresentados de maneira clara e concisa, muitas vezes usando técnicas como meta-análise quando apropriado.

As etapas acima descritas são demonstradas no fluxograma abaixo, onde é possível analisar e acompanhar todo o processo de identificação, seleção, elegibilidade e inclusão dos artigos para o presente estudo, em duas plataformas de consulta privada, considerando o método PRISMA como objeto da revisão sistemática, totalizando vinte e oito estudos adequados aos critérios estabelecidos.

Deste modo, na etapa de identificação foi definido que o propósito da pesquisa é compreender o desempenho da modelagem hidrológica como ferramenta de gestão dos recursos hídricos, principalmente no que diz respeito aos modelos dos tipos chuva-vazão, apontando um parecer das práticas e desafios associados a essa diretriz de aprendizado. Seguindo, outro critério para realização inicial da busca foi a identificação das palavras chaves que seriam utilizadas, sendo: “hydrological modeling”; “rainfall-runoff”; “semi-arid regions”, “humid regions”. Por fim, foram utilizadas duas plataformas de pesquisa que oferece acesso a uma ampla variedade de estudos acadêmicos e científicos, incluindo periódicos científicos, conferências e índices de citação de dados para busca, sendo estas: a Web of Science (WoS) e a Scopus.

Em seguida, na etapa de seleção, foi realizado uma triagem examinando principalmente os títulos, resumos e palavras chaves, sendo assim foi feita a exclusão de registros que não seriam relevantes, com base nesses aspectos apresentados. Na etapa de elegibilidade, foram definidos os critérios de exclusão e inclusão, sendo estes:

- Artigos escritos em inglês, português e espanhol;
 - Publicações a partir de 1995;
 - Uso da modelagem hidrológica como ferramenta na gestão dos recursos hídricos;
 - Aplicação de modelos hidrológicos para simulações chuva-vazão e escoamento superficial;
 - Estudos aplicados a bacias hidrográficas e reservatórios como estudo de caso.
 - Critérios de Exclusão:
 - Estudos publicados em livros, teses, dissertações ou congressos;
 - Investigações matemáticas da estrutura de modelos hidrológicos, sem aplicação prática;
 - Estudos que evidenciavam somente a evapotranspiração potencial (PET).

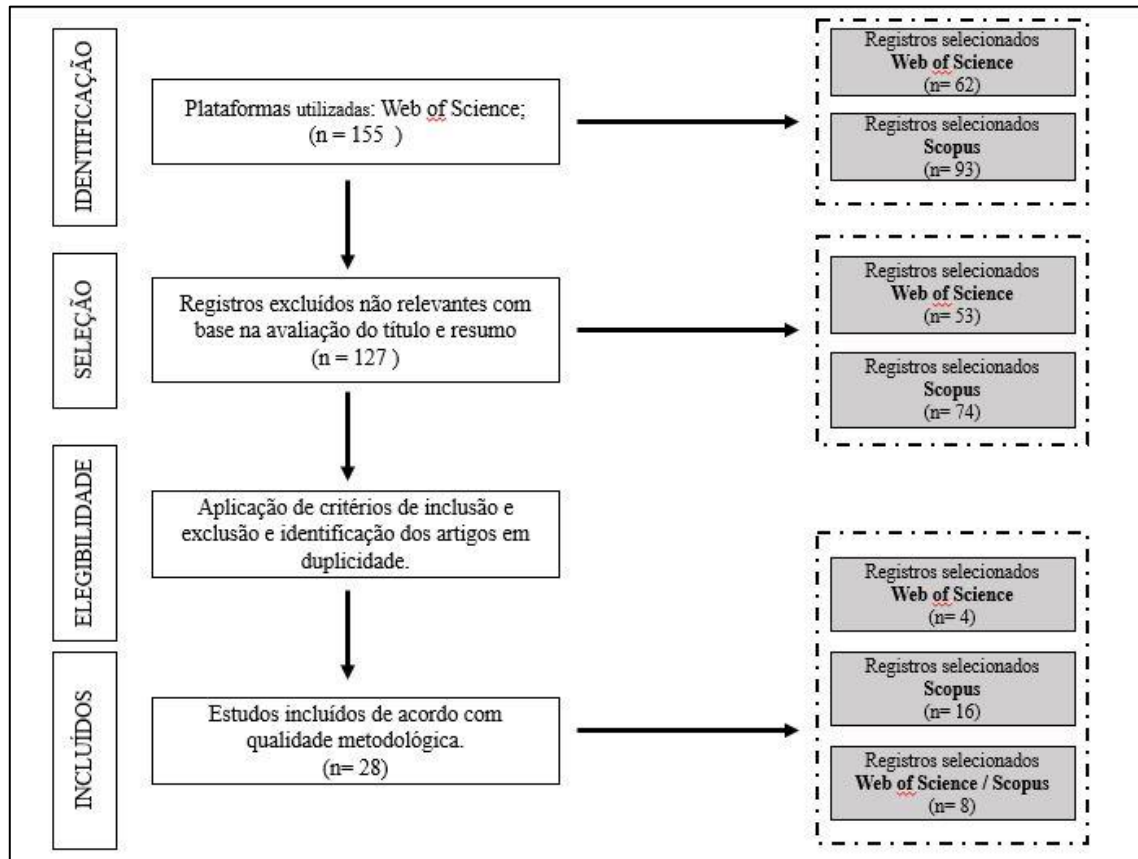


Figura 1: Fluxograma revisão sistemática PRISMA.

Além dos critérios citados acima, notou-se que alguns artigos estavam presentes nas duas bases de pesquisas, sendo assim, esses foram categorizados a parte, pertencentes a ambas as plataformas. Por fim, após aplicação de todos os parâmetros, de forma clara, prezando pela coerência e qualidade da base de literatura científica, foram selecionados 28 artigos finais, sendo eles: Web of Science (04); Scopus (16) e (08) artigos que pertenciam as duas bases.

Resultados e discussão

A Tabela 1, apresentada abaixo, demonstra as principais informações relacionadas a cada artigo envolvido na busca, e na sequência é feita a discussão de todos os estudos selecionados, destacando os pontos com maiores contribuições para a comunidade científica no tocante ao uso da modelagem hidrológica e suas inúmeras possibilidades de aplicação na gestão dos recursos hídricos.

Derdour et al. (2018) utilizam o modelo Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) para avaliar o

escoamento superficial na região semiárida da bacia hidrográfica de Ain Sefra, Argélia, visto que, esta cidade sofreu com grandes episódios de inundação no último centenário. Os dados de entrada são pluviometria e o uso e ocupação do solo através do Serviço de Conservação do Solo – Curve Number (SCS-CN). A taxa de escoamento foi analisada através de hidrograma característico e a eficiência do modelo através do coeficiente de Eficiência de Nash Sutcliffe (NSE), que retornou um valor de 0,95, evidenciando assim que a simulação hidrológica representou com eficiência o escoamento na bacia hidrográfica. Os resultados mostraram que a aplicação do modelo foi eficaz na simulação do escoamento superficial, fornecendo previsões apropriadas que podem ser utilizadas na gestão dos recursos hídricos em ambientes desafiadores o que contribui para a compreensão e redução dos impactos de eventos hidrológicos extremos em regiões semiáridas.

Bouadila et al. (2023) realizaram simulações de fluxo através da comparação dos resultados retornados pelos modelos hidrológicos Génie Rural à 4 Parâmetros Journalier (GR4J),

modelo concentrado, e ATHYS, modelo distribuído, na zona sudoeste de Marrocos, na bacia hidrográfica de Agüenza, avaliando eventos de inundação e a importância da gestão de recursos hídricos. O ATHYS demonstrou ser superior ao GR4J na simulação realizada, o que evidencia a importância de considerar os processos hidrológicos em sua totalidade na avaliação de fenômenos pluviométricos, de fluxo e inundações. A eficiência dos modelos foi avaliada pelos indicadores de desempenho NSE, RSR e PBIAS, que tiveram resultados satisfatórios tanto na calibração quanto na validação. E ainda, os autores evidenciam a notável eficiência do ATHYS no estudo de eventos de inundações em regiões semiáridas.

Sezen e Partal (2022) simularam eventos de precipitação e escoamento utilizando os modelos conceituais concentrados GR4J e Génie Rural à 4 Paramètres Journalier (GR6J) e modelos baseados no algoritmo de rede neural artificial Wavelet (WGANN), e regressão vetorial baseada em Wavelet (WSVR), em áreas semiáridas e úmidas da bacia de Antalya, localizada na Turquia. A eficiência das simulações foi avaliada através dos valores de NSE, do índice de concordância (d) e raiz do erro quadrático médio (RMSE). Deste modo, pôde-se concluir que os modelos baseados em dados neurais produziram melhores resultados que os modelos conceituais, no que tange a previsão de fluxos extremos, o que sugere que a integração dos dois tipos de modelagem aumenta a eficiência e precisão da representação de fenômenos hidrológicos.

Ghavidelfar et al. (2011) simularam eventos pluviométricos e escoamento superficial através da análise comparativa do modelo que considera a distribuição espacial e o modelo temporal da precipitação (ModClark) versus o modelo que utiliza parâmetros concentrados e simplificados (Clark), avaliando a influência dos parâmetros temporais e espaciais na bacia de Randan, localizada no noroeste de Teerã, na região semiárida do Irã. Após calibração e validação dos modelos foi observado que ambos representam com precisão os fenômenos hidrológicos e as variáveis envolvidas no processo. Além disso, o estudo evidencia a importância de considerar a distribuição espacial da precipitação para melhorar a precisão das simulações hidrológicas que é que é primordial para o planejamento e gerenciamento de recursos hídricos.

Ogilvie et al. (2018) combinaram o uso do sensoriamento remoto, modelagem hidrológica e observações de imagens de satélite para monitorar pequenos reservatórios, mencionando as

dificuldades provenientes da aquisição dos dados de entrada dos modelos hidrológicos, sendo este um fator limitante da eficiência de alguns estudos. Deste modo, avaliou-se eventos chuva-vazão e o balanço hídrico em sete pequenos reservatórios, na região semiárida da Tunísia, em um período de 15 anos. A eficiência da modelagem hidrológica foi avaliada de acordo com os parâmetros RMSE e NSE, com isso, foi possível aprimorar o monitoramento hidrológico da região e avaliar a dinâmica de cheias em pequenas massas d'água.

Sun et al. (2021) avaliaram qual o modelo hidrológico mais adequado no estudo de três bacias semiáridas chinesas através da aplicação de seis modelos conceituais, investigando a correlação entre as características das bacias e selecionando a estrutura mais adequada do modelo a ser aplicado. Pôde-se observar que a topografia, a cobertura do solo e a inclinação do curso de água influenciam diretamente o escoamento superficial, sendo estas as variáveis hidrológicas que mais são impactadas, se sobressaindo a precipitação, que apresentou similaridade em bacias com características semiáridas semelhantes. Para uma modelagem hidrológica eficiente deve-se considerar a relação chuva-escoamento, sendo esta determinante para a avaliação de fenômenos de inundações.

Laassilia et al. (2022) modelaram eventos chuva-vazão através do HEC-HMS para avaliar a ocorrência de inundações na região semiárida de Sidi Mohammed Bem, na bacia hidrográfica da barragem de Abdellah (SMB), localizada no Marrocos. Como indicadores de desempenho avaliou-se os valores do erro médio, CN e do NSE. Deste modo, pôde-se observar que o modelo é eficiente na estimativa de volumes escoados durante cheias, com isso, podem ser previstas ocorrências de inundações, auxiliando a gestão do reservatório da barragem nos períodos chuvosos.

Tabela 1: Consolidado dos artigos pesquisados e selecionados pelo método PRISMA.

BASES DE BUSCA				
Base	Revista	1º Autor e Ano	Regiões Climáticas	Modelo Hidrológico
Web Of Science / Scopus	ATMOSPHERIC SCIENCE	XU, J. (2020)	Clima Úmido e Semi-árido	TOPMODEL
Web Of Science / Scopus	WATER	KAN, G. (2017)	Clima Úmidas; Semi-úmidas; áridas;	Xinanjiang (XAJ), geração de escoamento misto (MIX) e norte Shannxi (NS).
Web Of Science / Scopus	WATER	BOUADILA, A. (2023)	Semi-árida	GR4J e ATHYS (2002-2011).
Web Of Science	PROCEEDINGS OF THE 2ND INTERNATIONAL YELLOW RIVER FORUM ON KEEPING	XU (2005)	Semi-úmido; Semiárida; Úmida; Árida	Xinanjiang; Simultaneously model (SISM); Mixed model (VMM); ARNO model and the VIC.
Web Of Science / Scopus	WATER SUPPLY	SUN, L. (2021)	Semiáridas; Semi-úmidas	Xinanjiang, HEC e TOPMODEL
Web Of Science	WATER RESOURCES BULLETIN	ZHANG, X. (1996)	Úmidas e semiúmidas	HBV; Xinanjiang
Web Of Science / Scopus	SO RBRH-REVISTA BRASILEIRA DE RECURSOS HIDRICOS	CIRILO, J. A. (2020)	Semiárido	CAWM IV
Web Of Science / Scopus	WATER RESOURCES MANAGEMENT	GHAVIDELFAR, S. (2011)	Semiárida	ModClark; Clark
Web Of Science	HYDROLOGIC MODELING	AHIRWAR, A. (2018)	Úmida; Seca	Xinanjiang
Web Of Science / Scopus	INTERNATIONAL CONFERENCE ON DISPLAY AND PHOTONICS	XU, J. (2010)	Árida; semiárida	XXT; ANN-XXT
Web Of Science / Scopus	WATER PRACTICE AND TECHNOLOGY	LAASSILIA, O. (2022)	Semiárido	(HEC-HMS)

Web Of Science	JOURNAL OF HYDROLOGY	LÜ, H. (2013)	Úmidas e semi-úmidas	Xinjiang
Scopus	Journal of Water and Land Development	DERDOUR, A. (2018)	Semiárida	HEC-HMS
Scopus	Acta Geophysica	SEZEN, C. (2022)	Semiáridas; úmidas	GR4J; GR6J;
Scopus	IAHS-AISH Publication	ZHANG, X. (2007)	Semiáridas	Xinjiang, HEC e TOPMODEL
Scopus	Arabian Journal of Geosciences	MAREF, N. (2018)	Semiárida	MERCEDES
Scopus	Hydrological Processes	XIONG, L. (2004)	Semiárida	TOPMODEL
Scopus	Hupo Kexue/Journal of Lake Sciences	YUHUAN, L. I. U. (2020)	semi-úmido e semi-árido	Xin'anjiang (XAJ), modelo Xin'anjiang-Green-Ampt (XAJG
Scopus	Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering	WANG, X. (2009)	Úmida; Semiárida	Xin'anjiang
Scopus	IAHS-AISH Publication	REN, L. (2009)	Semiárida	IHMS-VSWSC
Scopus	Archives of Hydroengineering and Environmental Mechanics	HADDAD, A. (2022)	Áridas e semiáridas	HEC-HMS
Scopus	Journal of the Earth and Space Physics	YAGHOUBI, M. (2014)	Semiáridas	HEC-HMS, HBV and IHACRES
Scopus	Proceedings of the IAHR World Congress	PORTOGHESE, I. (2022)	Semiárida	BIGBANG
Scopus	Physics and Chemistry of the Earth	AHMADI, M. (2019)	Áridas	SWAT, IHACRES
Scopus	Nordic Hydrology	HU, C. H. (2005)	Semiáridas	Xinjiang, o modelo VIC e o TOPMODEL
Scopus	Shuili Fadian Xuebao/Journal of Hydroelectric Engineering	HUANG, P. (2013)	Semiáridas; semi-úmidas	TOPMODEL; SAC
Scopus	Journal of Hydrology	OGILVIE, A. (2018)	Semiárida	Classificações MNDWI em 546 sensores Landsat TM, ETM+ e OLI
Scopus	Tecnología y ciencias del agua	BÂ, K. M. (1995)	Semiárida	Modelo hidrológico OTTHYMO

Zhang et al. (2007) utilizaram os modelos Xinanjiang, HEC e TOPMODEL para simular eventos de inundações na bacia de Kuancheng, uma sub-bacia da bacia de Panjiakou, localizada na China. Foram utilizados dados históricos para a calibração dos modelos e avaliou-se o escoamento superficial. Para as séries temporais de precipitações utilizou-se o método estocástico para gerar os hidrograma característicos e avaliar os eventos de inundações de acordo com os parâmetros considerados. Deste modo, estabeleceram intervalos de confiança, com distintos níveis de significância, e análise de incertezas para avaliar a eficiência dos modelos nas representações e simulação hidrológica. O presente estudo gera informações importantes sobre a dinâmica das inundações e ajudam a identificar áreas de risco melhorando assim o planejamento e implementação de medidas de controle.

Maref e Seddini (2018) aplicaram o modelo hidrológico distribuído MERCEDES para avaliar eventos de inundação na bacia de Wadi Mekerra, localizada na região semiárida noroeste da Argélia. Usou-se como dados de entrada: precipitação e vazão diárias, e mapas numéricos. Deste modo, a partir da validação dos dados observados e calculados pôde-se avaliar a eficiência do modelo hidrológico, adotando como critério o desvio padrão de Nash-Sutcliffe. Além disso, constatou-se que a ocorrência de chuvas, secas, uso do solo e cobertura vegetal influenciam a simulação hidrológica da bacia.

Xiong e Guo (2004) avaliaram a eficiência do modelo hidrológico TOPMODEL em simulações chuva-vazão e escoamento superficial na bacia hidrográfica de Yihe, localizada no Rio Amarelo, China. A aplicação do modelo adequou-se com eficiência de 80% ao coeficiente de Nash-Sutcliffe, além disso, as séries de vazões foram simuladas sendo multiplicadas por um fator de escala maior, sendo estas amplificadas. Deste modo, observou-se que a eficiência do modelo aumenta proporcionalmente ao coeficiente de escoamento da bacia antes de atingir um pico, após esse pico a eficiência decai em detrimento do aumento do coeficiente, por isso, os autores propõem um método de amplificação de descarga que garante a eficiência do TOPMODEL na simulação chuva-vazão em eventos com baixo escoamento. Dessa forma, O estudo não apenas examina como o modelo TOPMODEL pode ser aplicado em uma bacia específica na China, mas também oferece percepções relevantes para a gestão dos recursos hídricos, aprimorando a capacidade de previsão e a resposta aos eventos hidrológicos na bacia de Yihe.

Ba et al. (1995) aplicaram o modelo hidrológico OTTHYMO, utilizando o Soil Conservation Service (SCS), em pequenas bacias hidrográficas localizadas na região semiárida do Sahel, África. A eficiência do modelo foi avaliada através dos índices de Índice de Nash-Sutcliffe (NSE), Erro Quadrático Médio (EQM), Coeficiente de Correlação (r) e observou-se que um aumento no número de reservatórios avaliados produz um aumento do pico de fluxo, sem haver alterações no intervalo de tempo. No entanto, para intervalos de tempo prolongados, observa-se constância no pico do hidrograma unitário. O estudo mostrou como o modelo pode ser adaptado e utilizado para melhorar a gestão dos recursos hídricos em áreas vulneráveis Sahel.

Yuhuan et al. (2020) afirmam que a variação da topografia em regiões semiúmidas e semiáridas influenciam o escoamento superficial durante eventos pluviométricos. Deste modo, simularam processos de inundações em bacias hidrográficas que não tem uma representatividade significativa, por modelos usuais, através do desenvolvimento de um modelo de combinação espacial (SCMs) combinando os modelos: Xin'anjiang (XAJ), Xin'anjiang-Green-Ampt (XAJG) e Green-Ampt (GA). Foi utilizado o método do CN em simulações nas bacias hidrográficas: Dongwan, semiúmida, e Zhidan, em região semiárida, localizadas na China. Com isso, pode-se concluir que os parâmetros hidrológicos representam de melhor forma a bacia Dongwan, enquanto a bacia Zhidan foi influenciada pelos mecanismos de escoamento, constatando que o modelo proposto se adequa com eficiência em simulações que consideram dados de solo e topografia. Sendo assim, esse estudo trás a abordagem de uma metodologia inovadora na qual pode ser aplicada em escala mundial com o objetivo de melhorar a gestão integrada dos recursos hídricos e a resposta a eventos extremos de inundação.

Xu et al. (2020) utilizaram o método boosting de aprendizagem para integrar modelos hidrológicos baseados em topografia, TOPMODEL, em simulações hidrológicas nas bacias do Rio Baohe, úmida, e do Rio Linyi, semiárida, localizadas na China. Foram utilizadas como informações de entrada os dados pluviométricos, fluviométricos e de evaporação. A eficiência do modelo foi avaliada através do coeficiente de Nash-Sutcliffe, do coeficiente de determinação e da raiz do erro quadrático médio. Deste modo, puderam concluir que as simulações que consideram os métodos em conjunto são mais eficientes que o TOPMODEL aplicado

individualmente, e, são eficientes na representação de bacias hidrográficas com características climáticas distintas. Com isso, o estudo mostra como a aplicação de métodos de aprendizagem pode melhorar significativamente a gestão dos recursos hídricos em diferentes contextos climáticos e geográficos.

Kan et al. (2017) estudaram eventos de inundações através da modelagem hidrológica simulada nos modelos conceituais: Xinanjiang (XAJ), geração de escoamento misto (MIX) e norte Shannxi (NS), aplicados a três bacias hidrográficas úmidas, três semiáridas e três áridas, totalizando nove bacias, localizadas na China. A eficiência dos modelos foi avaliada por meio de boxplots e gráficos de dispersão. Deste modo, pôde-se concluir que a simulação hidrológica e a previsão de cheias em bacias áridas são maiores que em bacias úmidas. Todos os modelos expressaram boa precisão na simulação das bacias úmidas, mas, apenas o NS simulou com coerência bacias áridas. E ainda, os autores ressaltam a necessidade de se ter soluções numéricas mais estáveis para expressar precipitação, infiltração e escoamento em modelos hidrológicas que desenvolvem simulação e previsão de cheias.

Wang et al. (2009) avaliaram a aplicabilidade de modelos hidrológicos distintos para simular eventos de inundações nas subbacias da Bacia do Rio Laoha, Xiquan e Chutoulang, localizadas na China. Os modelos empregados foram o Xinanjiang e o modelo misto de chuva vertical. Após as simulações realizadas, foi possível concluir que para observações chuva-vazão o modelo misto é superior ao Xinanjiang, e, que foi possível prever os eventos de inundações com maior precisão na subbacia Chutoulang em comparação com a Xiquan.

Ren et al. (2009) desenvolveram o Sistema Integrado de Modelagem Hidrológica, baseado no modelo distribuído espacialmente de capacidade de armazenamento de água (IHMS-VSWSC), para simulações hidrológicas em bacias áridas e semiáridas. Deste modo, foi aplicado o IHMS-VSWSC e um modelo de escoamento híbrido para simular o escoamento diário na bacia hidrográfica de Dianzi, localizada na China. A eficiência da modelagem hidrológica foi avaliada por meio do coeficiente de Nash-Sutcliffe, concluindo que o IHMS-VSWSC tem um desempenho superior ao modelo de escoamento híbrido, sendo eficiente na modelagem hidrológica de áreas áridas e semiáridas.

Haddad (2022) realizou a previsão de cheias na barragem de Boukerdane por meio do HEC-HMS na bacia hidrográfica de Oued El

Hachem, localizada na região árida do norte da Argélia. A calibração e validação do modelo foram realizadas usando como dados de entrada o tempo de retardo e o Curve Number (CN), e, para avaliar a eficiência do modelo foram considerados o coeficiente de determinação, o coeficiente de Nash-Sutcliffe e as diferenças percentuais entre pico e volume. O modelo demonstrou eficiência na análise comparativa entre os dados calculados e observados, retornando resultados satisfatórios. Deste modo, a simulação hidrológica foi satisfatória e por meio dos hidrogramas pode-se desenvolver procedimentos operacionais para garantir a segurança da barragem de Boukerdane diante de possíveis eventos de alagamentos.

Yaghoubi e Massah (2014) enfatizam a necessidade de uma gestão satisfatória de recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas de modo que se possa compreender as mudanças climáticas e o comportamento do ciclo hidrológico. Deste modo, aplicaram os modelos hidrológicos HBV, HEC-HMS e IHACRES para simular o escoamento na bacia semiárida do rio Azam Harat, que foi dividida em subbacias para a realização da simulação. A eficiência dos modelos foi avaliada através coeficiente Nash, do coeficiente de determinação (R^2) e da raiz do erro quadrático médio (RMSE). Deste modo, de acordo com a calibração e validação no período simulado o modelo HBV foi o que teve melhor desempenho, representando de modo satisfatório a bacia hidrográfica avaliada oferecendo uma contribuição crucial ao aplicar modelos hidrológicos avançados para simular o escoamento em uma bacia semiárida, contribuindo para a gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos.

Portoghese et al. (2022) analisaram a bacia semiárida da Puglia, localizada no sul da Itália, através da comparação do modelo BIGBANG, desenvolvido pela ISPRA, com um modelo distribuído, a fim de avaliar os balanços hídricos superficial e subterrâneo em leituras diárias. Utilizou-se dados semiquantitativos para validação dos modelos e informações hidrológicas, de acordo com o conhecimento local. Os parâmetros mais relevantes observados foram: o tempo de recessão dos reservatórios subterrâneos e a capacidade de armazenamento em relação ao fluxo diário. A comparação entre os modelos permitiu compreender a dinâmica das águas subterrâneas e o fluxo de base na área da bacia hidrográfica, demonstrando a eficiência de modelos de grande escala em bacias não avaliadas.

Ahmadi et al. (2019) aplicaram os modelos hidrológicos SWAT, IHACRES e ANN para simular o processo chuva-vazão na bacia

hidrográfica de Kan, oeste de Teerã, localizada no Irã. A eficiência da validação dos modelos foi avaliada em função dos coeficientes NSE, R2, RMSE e BEM. Com isso, foi possível constatar que o modelo RNA demonstrou um melhor desempenho para simulações de valores máximos e mínimos de vazões: diária, mensal e anual, em comparação com os demais modelos. E apesar dos outros dois modelos terem demonstrado desempenho aceitável, o modelo SWAT se mostrou superior ao IHACRES.

Hu et al. (2005) aplicaram os modelos Xinanjiang, o modelo modificado de Xinanjiang, o modelo VIC e o TOPMODEL para simular o escoamento e a previsão de inundações em três diferentes bacias hidrográficas, localizadas nas regiões úmidas do sul da China. Deste modo, constatou-se que o modelo modificado de Xinanjiang teve desempenho superior aos demais, e que deveriam ser acrescentadas nas observações dos modelos os mecanismos de infiltração e escoamento excessivo, quando estes forem aplicados a regiões semiáridas.

Huang et al. (2013) aplicaram seis modelos hidrológicos nas bacias hidrográficas Dage, Daiying, Fuping e Dongwan, localizadas nas regiões semiáridas e semiúmidas da China. Podendo concluir que nenhum dos modelos simulou o processo chuva-vazão com eficiência sob mecanismo de infiltração-escoamento excessivo, que a precisão do modelo de escoamento misto se mostra superior ao modelo de escoamento total armazenado, e que em regiões semiúmidas a precisão do modelo de armazenamento completo é superior à do modelo misto. Além disso, pôde-se avaliar que os modelos TOPMODEL e SAC não possuem resultados satisfatórios nas regiões semiúmidas.

Cirilo et al. (2020) demonstram o modelo hidrológico conceitual CAWM IV (Campus Agreste Watershed Model Version IV), desenvolvido para aplicação principal em bacias semiáridas brasileiras. Ao longo do estudo é demonstrada a estrutura do modelo e sua aplicação em bacias hidrológicas distintas. O modelo demonstra uma quantidade reduzida de parâmetros que se faz necessário calibrar e a inserção de dados físicos da bacia simulada, de modo que em bacias similares, na ausência de dados de fluxo, possa ser realizado o processo de regionalização. Deste modo, a eficiência do modelo foi avaliada, através dos critérios de desempenho, na simulação hidrológica de quatro bacias hidrográficas localizadas no estado de Pernambuco, região Nordeste do Brasil. Concluindo que as simulações se mostraram satisfatórias em 55 a 92% dos

eventos avaliados. O CAMW demonstra sua aplicação prática e potencial impacto na gestão sustentável dos recursos hídricos, promovendo uma abordagem mais precisa e adaptada às condições específicas dessas regiões.

Xu et al. (2010) desenvolveram o modelo chuva-vazão semidistribuído ANN-XXT que se baseia nos modelos hidrológicos Xinanjiang e TOPMODEL, apresentando desempenho melhor que estes, quando aplicado em simulações de escoamento diário e inundações em bacias hidrográficas da China. Deste modo, observou-se que o XXT tem um desempenho inferior ao modelo de rede neural artificial (RNA) quando aplicado para simulações de fluxo diárias em modelos chuva-vazão, principalmente para grandes bacias. Selecionou-se como área de estudo a grande bacia hidrográfica de Yingluoxia, no curso superior do rio Heihe, localizada na região árida e semiárida do noroeste da China. Com esta simulação pôde-se concluir que os fluxos diários observados e calculados estão próximos, demonstrando a eficiência do modelo proposto para a simulação da vazão diária em grandes bacias áridas e semiáridas.

Zuo et al. (2005) aplicaram os modelos Xinanjiang, Excesso Simultâneo de Infiltração e Saturação (SISM), Modelo Vertical Misto (VMM), ARNO e o VIC, para simular os dados hidrológicos de chuva e escoamento superficial em quatro bacias hidrográficas: Luanchuan, Wangyao, rio Lanhe (bacia do Rio Amarelo) e Shangyi (bacia de de Yongding), localizadas na China em regiões climáticas distintas. Deste modo, pôde-se concluir que as simulações que retornaram melhores resultados foram as realizadas nas regiões semiúmidas, considerando três modelos de mistura. Nas bacias semiáridas os resultados não foram satisfatórios, apesar dos modelos de mistura demonstrarem distintos tipos de escoamento superficial. Os modelos SISM e VMM expressaram com clareza dados de intensidade de chuva, precipitação, taxa de infiltração e armazenamento do solo. E o modelo VIC demonstra os mecanismos de geração de escoamento superficial em distintas regiões climáticas.

Zhang et al. (1996) aplicaram os modelos conceituais chuva-vazão semidistribuídos HBV e o Xinanjiang para simular eventos hidrológicos em regiões úmidas e semiúmidas, com rotina de neve por meio do HBV. Os dois modelos foram testados em duas bacias hidrográficas, retornando um bom desempenho e resultados semelhantes.

Ahirwar et al. (2018) avaliaram o desempenho do modelo hidrológico Xinanjiang em seis bacias hidrográficas, localizadas na Índia, com

diferentes condições climáticas. A eficiência do modelo foi avaliada através dos valores médios de NSE e R^2 , sendo possível observar que o modelo simula com maior precisão as bacias úmidas, e com baixo desempenho as bacias localizadas em áreas secas.

Lü et al. (2013) aplicaram o modelo de chuva-escoamento (RR) Xinanjiang, avaliando sua eficiência, para simular o fluxo do rio Luo, localizado na China. Para inibir a ocorrência de erros e reduzir a incerteza associada, o modelo Xinanjiang foi otimizado com algoritmos e um método de computação de dados. Deste modo, pôde-se concluir que os recursos de programação otimizaram o modelo e retornaram bons resultados de simulação.

A modelagem hidrológica e, principalmente, a aplicação de modelos adequados são uma ferramenta imprescindível para a gestão dos recursos hídricos, tanto em grandes áreas, como também em análises pontuais. Além disso, ressalta-se a importância da compreensão das variáveis do ciclo hidrológico e como cada parâmetro influencia a calibração e validação dos modelos aplicados, que podem ser avaliados a partir da análise de coeficientes de eficiência, estudados e aplicados em inúmeras pesquisas.

A partir da análise dos periódicos e discussão das temáticas abordadas, foi possível concluir que a plataforma Scopus retornou uma maior quantidade de artigos que se enquadram nos critérios de seleção que a WoS. Além disso, a grande maioria dos artigos foram publicados em inglês como idioma principal, as revistas que tiveram mais artigos selecionados foram *IAHS-AISH Publication*, *Journal of Hydrology* e *Water*, tendo duas publicações selecionadas em cada uma. As principais aplicações abordadas, foram: simulações chuva-vazão com análise de hidrogramas, escoamento superficial, infiltração, identificação de áreas suscetíveis a inundações e controle de cheias em reservatórios.

A maioria das bacias abordadas nas simulações hidrológicas estão localizadas na China, e em condições climáticas áridas e semiáridas. Os principais modelos hidrológicos aplicados nas simulações foram o HEC, o TOPMODEL e o Xinanjiang, este se sobressaindo aos demais. Destaca-se ainda o CAWM IV, um modelo hidrológico recente que traz a inovação do uso reduzido de parâmetros e eficiência promissora nas simulações de bacias hidrográficas com distintas características climáticas, retornando desempenho satisfatório tanto em bacias semiáridas, quanto em bacias úmidas.

Conclusão

Deste modo, fica evidente que a abordagem de simulações hidrológicas, de modo que forneçam uma representação de eventos reais, é uma importante ferramenta na gestão de recursos hídricos em todo o mundo. Além disso, alguns autores sugerem adequações dos modelos para áreas com indisponibilidade ou disponibilidade limitada de dados, e com características climáticas distintas, por isso o CAWM IV, único modelo hidrológico brasileiro incluído pelo método PRISMA, se destaca ao preencher essa lacuna trazendo uma modelagem simplificada que resulta em validações eficientes e interpretações satisfatórias de eventos hidrológicos em regiões semiáridas e com potencial de aplicação em bacias úmidas.

Em suma, a aplicação diversificada de modelos hidrológicos em várias regiões do mundo não só otimiza a gestão local dos recursos hídricos, mas também fortalece uma compreensão holística e global dos processos hidrológicos. Esse conhecimento é fundamental para desenvolver estratégias eficazes de adaptação e mitigação frente aos desafios crescentes associados à disponibilidade de água e às consequências das mudanças climáticas.

Agradecimentos

Agradecemos ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife) e ao Programa de Engenharia Civil e Ambiental (Centro Acadêmico do Agreste-CAA, Caruaru) e a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE).

Referências

- Abdivaitov, K., Muratov, S., Altiyev, A., Abdivaitova, S., Norkulov, M., & Khalilova, B. (2021). An overview of land fund categories distribution in Surkhandarya, Uzbekistan. *E3S Web of Conferences*, 25, 01004. Disponível: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125201004>. Acesso: 15 fev. 2024.
- Ahirwar, A., Jain, M. K., & Perumal, M. (2018). Performance of the Xinanjiang model. In *Hydrologic Modeling: Select Proceedings of ICWEES-2016* (pp. 715–731). Springer Singapore.
- Ahmadi, M., Moeini, A., Ahmadi, H., Motamedvaziri, B., & Zehtabiyan, G. R. (2019). Comparison of the performance of

- SWAT, IHACRES and artificial neural networks models in rainfall-runoff simulation (case study: Kan watershed, Iran). *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 111, 65–77.
Disponível:<https://doi.org/10.1016/j.pce.2019.04.002>. Acesso: 19 fev. 2024.
- Alves, R., Rudke, A. P., Martins, J. A., & Santos, M. M. (2023). Abordagens baseada na natureza para gestão sustentável de águas pluviais em ambientes urbanos: Uma análise bibliométrica. *Geographia Opportuno Tempore*, 9(2), e48786. Disponível: <https://doi.org/10.5935/2237-4367.20230009>. Acesso: 04 fev. 2024.
- Bâ, K. M., Díaz, C., Llamas, J., & Llanos, H. (1995). Zonas semiáridas y su modelación hidrológica (lluvia-escurrimiento). *Tecnología y Ciencias del Agua*, 10(2), 21–31. Disponível: [https://doi.org/10.1016/0187-5509\(95\)80003-X](https://doi.org/10.1016/0187-5509(95)80003-X). Acesso: 23 jan.2024.
- Bouadila, A., Bouizrou, I., Aqnoy, M., En-Nagré, K., El Yousfi, Y., Khafouri, A., Abiou, M. (2023). Streamflow simulation in semiarid data-scarce regions: A comparative study of distributed and lumped models at Aguenza Watershed (Morocco). *Water*, 15(8), 1602. Disponível: <https://doi.org/10.3390/w15081602>. Acesso: 26 jan.2024.
- Cirilo, J. A., Verçosa, L. F. D. M., Gomes, M. M. D. A., Feitoza, M. A. B., Ferraz, G. D. F., & Silva, B. D. M. (2020). Development and application of a rainfall-runoff model for semi-arid regions. *RBRH*, 25. Disponível: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.2520200060>. Acesso: 16 fev. 2024.
- Derdour, A., Bouanani, A., & Babahamed, K. (2018). Modelling rainfall runoff relations using HEC-HMS in a semi-arid region: Case study in Ain Sefra watershed, Ksour Mountains (SW Algeria). *Journal of Water and Land Developmen*, 36, 45–55. Disponível: <https://doi.org/10.2478/jwld-2018-0005>. Acesso: 16 fev. 2024.
- Ghavidehfar, S., Alvankar, S. R., & Razmkah, A. (2011). Comparison of the lumped and quasi-distributed Clark runoff models in simulating flood hydrographs on a semi-arid watershed. *Water Resources Management*, 25, 1775–1790. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s11269-010-9784-7>. Acesso: 30 fev. 2024.
- Guyasa, A. K., Guan, Y., & Zhang, D. (2024). Impact of climate change on the water balance of the Akaki Catchment. *Water*, 16(1), 54. Disponível: <https://doi.org/10.3390/w16010054>. Acesso: 02 jan. 2024.
- Haddad, A. (2022). Extreme rainfall-runoff events modeling using HEC-HMS model for Oued El Hachem watershed, Northern Algeria. *Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics*, 69(1), 45–57. Disponível: <https://doi.org/10.2478/ahem-2022-0005>. Acesso: 02 fev. 2024.
- Hu, C. H., & Guo, S. L. (2005). Inter-comparison of watershed hydrological models based on the storage curve of watershed. In *The Proceedings of the Second International Yellow River Forum* (Vol. 3, pp. 297–308).
- Hu, C., Guo, S., Xiong, L., & Peng, D. (2005). A modified Xinanjiang model and its application in northern China. *Hydrology Research*, 36(2), 175–192. Disponível: <https://doi.org/10.2166/nh.2005.0030>. Acesso: 30 fev. 2024.
- Huang, P., Li, Z., Yao, C., Hu, C., & Zhang, J. (2013). Application and comparison of hydrological models for semi-arid and semi-humid regions. *Journal of Hydroelectric Engineering*, 4, 4–9. Disponível: <https://doi.org/10.1051/jhe/201304010>. Acesso: 06 jan. 2024.
- Kan, G., He, X., Ding, L., Li, J., Liang, K., & Hong, Y. (2017). Study on applicability of conceptual hydrological models for flood forecasting in humid, semi-humid, semi-arid and arid basins in China. *Water*, 9(10), 719. Disponível: <https://doi.org/10.3390/w9100719>. Acesso: 10 fev. 2024.
- Laassilia, O., Saghiry, S., Ouazar, D., Bouziane, A., & Hasnaoui, M. D. (2022). Flood forecasting with a dam watershed event-based hydrological model in a semi-arid context: Case study in Morocco. *Water Practice & Technology*, 17(4), 817–834. Disponível: <https://doi.org/10.2166/wpt.2022.084>. Acesso: 06 Fev. 2024.
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P. A., Clarke, M., Devereaux, P. J., Kleijnen, J., & Moher, D. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: Explanation and elaboration. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000100. Disponível: <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000100>. Acesso: 16 jan. 2024.
- Lü, H., Hou, T., Horton, R., Zhu, Y., Chen, X., Jia, Y., ... Fu, X. (2013). The streamflow

- estimation using the Xinanjiang rainfall runoff model and dual state-parameter estimation method. *Journal of Hydrology*, 480, 102–114. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.12.020>. Acesso: 20 jan. 2024.
- Maref, N., & Seddini, A. (2018). Modeling of flood generation in semi-arid catchment using a spatially distributed model: Case of study Wadi Mekerra catchment (Northwest Algeria). *Arabian Journal of Geosciences*, 11(1), 1–15. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s12517-017-3355-3>. Acesso: 04 fev. 2024.
- Mathias, D. T., Lupinacci, C. M., & Nunes, J. O. R. (2022). Identificação dos fluxos de escoamento superficial em área de relevo tecnogênico a partir do uso de modelos hidrológicos em SIG. *Sociedade & Natureza*, 32, 772–783. Disponível: <https://doi.org/10.1590/1982-451320220321>. Acesso: 06 fev. 2024.
- Nakagawa, Y. (2020). Taking a future generation's perspective as a facilitator of insight problem-solving: Sustainable water supply management. *Sustainability*, 12(3), 1000. Disponível: <https://doi.org/10.3390/su12031000>. Acesso: 06 jan. 2024.
- Nyssen, J., Clymans, W., Descheemaeker, K., Poesen, J., Vandecasteele, I., Vanmaercke, M., Zenebe, A., Van Camp, M., Haile, M., Haregeweyn, N., Moeyersons, J., Martens, K., Gebreyohannes, T., Deckers, J., & Walraevens, K. (2010). Impact of soil and water conservation measures on catchment hydrological response—a case in north Ethiopia. *Hydrological Processes*, 24(13), 1880–1895. Disponível: <https://doi.org/10.1002/hyp.7514>. Acesso: 18 jan. 2024.
- Ogilvie, A., Belaud, G., Massuel, S., Mulligan, M., Le Goulven, P., Malaterre, P. O., & Calvez, R. (2018). Combining Landsat observations with hydrological modelling for improved surface water monitoring of small lakes. *Journal of Hydrology*, 566, 109–121. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.09.024>. Acesso: 16 fev. 2024.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., & Bossuyt, P. M. (2021). Updating guidance for reporting systematic reviews: Development of the PRISMA 2020 statement. *Journal of Clinical Epidemiology*, 134, S0895-4356(21)00040-8. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.01.003>. Acesso: 08 fev.2024.
- Portoghese, I., Totaro, V., Panciera, C., & Iacobellis, V. (2022). Calibration of a large-scale water balance model in a semi-arid ungauged catchment of Southern Italy. *Proceedings of the IAHR World Congress*.
- Prasad, A. D., Singh, N., Ganasala, P., & Shekhar, S. (2023). Morphometric analysis of natural landscapes of Northern Maharashtra using geomatics techniques, Western Ghats, India. *Water and Energy International*, 65r(10), 11–24. Disponível: <https://doi.org/10.1177/9781119691202>. Acesso: 20 jan. 2024.
- Qi, W., Feng, L., Yang, H., Liu, J., Zheng, Y., Shi, H., Wang, L., & Chen, D. (2022). Economic growth dominates rising potential flood risk in the Yangtze River and benefits of raising dikes from 1991 to 2015. *Environmental Research Letters*, 17(3), 034046. Disponível: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac5e2f>. Acesso: 22 jan.2024.
- Ren, L., Wang, G., Lu, F., & Fang, T. F. (2009). A comparative study of simulation results between IHMS-VSWSC and hybrid runoff model in Dianzi watershed. In *Hydrological modelling and integrated water resources management in ungauged mountainous watersheds: Proceedings of a symposium held at Chengdu, China, November 2008* (pp. 72–79). IAHS Press.
- Ricci, R. M. P., & Medeiros, R. (2012). Contribuições para a gestão da Lagoa Rodrigo de Freitas/RJ sob a óptica das políticas de gestão dos recursos hídricos. *Oecologia Australis*, 16(3), 694–720. Disponível: <https://doi.org/10.4257/oeco.2012.1603.08>. Acesso: 16 jan. 2024.
- Ringeltaube, J., Van Lanen, H., & Demuth, S. (2002). The European water framework directive—An example for water management in national and international river basins. In *FRIEND 2002—Regional Hydrology: Bridging the Gap between Research and Practice: Fourth International Conference on FRIEND* (pp. 19–25). IAHS Press.
- Sezen, C., & Partal, T. (2022). The utilisation of conceptual and data-driven models for hydrological modelling in semi-arid and humid areas of the Antalya basin in Turkey. *Acta Geophysica*, 70(2), 897–915. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s11600-021-00795-5>. Acesso: 18 jan. 2024.
- Shamseer, L., Moher, D., Clarke, M., Ghera, D., Liberati, A., Petticrew, M., Shekelle, P.,

- Stewart, L., & Grupo PRISMA-P. (2015). Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Systematic Reviews*, 4(1), 1. Disponível: <https://doi.org/10.1186/2046-4053-4-1>. Acesso: 01 fev.2024.
- Sun, L., Li, Z., Zhang, K., & Jiang, T. (2021). Impacts of precipitation and topographic conditions on the model simulation in the north of China. *Water Supply*, 21(3), 1025–1035. Disponível: <https://doi.org/10.2166/ws.2021.042>. Acesso: 02 fev. 2024.
- Terzi, O., & Dündar, C. (2020). Qualitative evaluation of theses about drinking water in our country in the last 10 years. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 77, 211–218. Disponível: <https://doi.org/10.5505/tyd.2020.020>. Acesso: 06 fev. 2024.
- Tsani, S., Koundouri, P., & Akinsete, E. (2020). Resource management and sustainable development: A review of the European water policies in accordance with the United Nations’ Sustainable Development Goals. *Environmental Science and Policy*, 114, 570–579. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.08.010>. Acesso: 06 fev. 2024.
- Wang, X., Song, X., Xue, Y., Li, P., Bai, L., You, B., ... Li, Q. (2009). Application and comparison of different grid-based hydrological models in the Laoha River basin. In *International Symposium on Spatial Analysis, Spatial-Temporal Data Modeling, and Data Mining* (pp. 1561–1568). SPIE.
- Xiong, L., & Guo, S. (2004). Effects of the catchment runoff coefficient on the performance of TOPMODEL in rainfall–runoff modelling. *Hydrological Processes*, 18(10), 1823–1836. Disponível: <https://doi.org/10.1002/hyp.1466>. Acesso: 30 jan. 2024.
- Xu, J., Liu, W., Zheng, Z., Zhang, W., & Ning, L. (2010). A new hybrid hydrologic model of XXT and artificial neural network for large-scale daily runoff modeling. In *2010 International Conference on Display and Photonics* (pp. 155–160). SPIE.
- Xu, J., Zhang, Q., Liu, S., Zhang, S., Jin, S., Li, D., Wu, X., Liu, X., Li, T., & Li, H. (2020). Ensemble learning of daily river discharge modeling for two watersheds with different climates. *Atmospheric Science Letters*, 21(11), e1000. Disponível: <https://doi.org/10.1002/asl.1000>.
- Xu, Z. Z. (2005). Intercomparison of watershed hydrological models based on the storage curve of watershed. In *Proceedings of the 2nd International Yellow River Forum on Keeping Healthy Life of the River*.
- Yaghoubi, M., & Massah, B. A. R. (2014). Sensitivity analysis and comparison of capability of three conceptual models HEC-HMS, HBV and IHACRES in simulating continuous rainfall-runoff in semi-arid basins. *Journal of the Earth and Space Physics*, 40(1), 91–103.
- Yuhuan, L. I. U., Zhijia, L. I., & Zhiyu, L. I. U. (2020). Spatial combination model for semi-humid and semi-arid watersheds. *Lake Science*, 32(3), 826–839. <https://doi.org/10.18307/2020.032.015>
- Zhang, X., Li, Z., & Dong, X. (2007). Application of three hydrological models in a semi-arid region and analysis of model uncertainty. *IAHS-AISH Publication*, 144–150.
- Zhang, X., & Lindström, G. (1996). A comparative study of a Swedish and a Chinese hydrological model. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 32(5), 985–994. Disponível: <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1996.tb05462.x>. Acesso: 15 fev. 2024.