

# Modelos hidrológicos, tipos e aplicações mais utilizadas

*Hydrological models, types and applications used more*

*Lizane Almeida<sup>1</sup>  
Juan Carlos Valdés Serra<sup>2</sup>*

## Resumo

O entendimento do fluxo hídrico nos diversos compartimentos ambientais é essencial na gestão de recursos hídricos e no dimensionamento de obras hidráulicas. No entanto, a quantificação desses diversos fluxos *in-loco* é muito difícil devido à grande variabilidade de fatores ambientais e à extensão das áreas a serem estudadas. Diante disso, a modelagem hidrológica se apresenta como um instrumento fundamental nessas quantificações. Através da aplicação de princípios de uma ou mais teorias e conceitos, os modelos hidrológicos são capazes de reproduzir os fenômenos hídricos dentro de uma escala de tempo definida, estimando componentes do fluxo hidrológico, anteriormente desconhecidos ou não quantificados. Nesse contexto, o presente trabalho apresenta um levantamento bibliográfico, uma breve descrição do histórico da modelagem hidráulico-hidrológica e os principais tipos de modelos hidrológicos, classificados com base em sua conceituação, bem como sua aplicabilidade.

Palavras-chave: Modelos Hidrológicos. Conceitos. Utilização.

---

<sup>1</sup> Acadêmica do curso Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Tocantins (UFT). Engenharia Ambiental. *E-mail*: lizane22@gmail.com

<sup>2</sup> Professor Doutor do Curso Engenharia Ambiental na Universidade Federal do Tocantins (UFT). *E-mail*: juancs@uft.edu.br

## Abstract

The understanding of water flow in the various environmental compartments is essential in the management of water resources and hydraulic structures, however, the quantification of these various streams in place is very difficult due to the great variability of environmental factors and extent of areas to be studied. Thus, hydrologic modeling is presented as a key tool in these quantifications. By applying principles of one or more theories and concepts, hydrological models are able to reproduce water phenomena within a defined timescale, estimating components of the hydrologic flow, previously unknown or not quantified. In this context, this paper presents a literature review with the concept and a brief description of the history of hydraulic-hydrological modeling and the main types of hydrologic models, classified based on its concept and its applicability.

Keywords: Hydrological Models. Concepts. Use.

## Introdução

Os modelos hidrológicos procuram representar a parte terrestre do ciclo hidrológico, transformando a precipitação que cai sobre a bacia em vazão numa determinada seção de um rio. O conhecimento foi inicialmente fragmentado pela análise de cada um dos processos, como a avaliação da precipitação, interceptação vegetal, evapotranspiração, infiltração e percolação, balanço de água nas camadas superior e inferior do solo e os escoamentos superficial, subsuperficial, subterrâneo e em rios, canais e lagos (TUCCI, 2010).

Um modelo hidrológico pode ser representado matematicamente através do fluxo de água e de seus constituintes sobre alguma parte da superfície e/ou subsuperfície terrestre. Há uma estreita relação entre a modelagem hidrológica, a biológica e a ecológica, pois o transporte de materiais pela água é influenciado por atividades biológicas que podem aumentar ou diminuir a quantidade desses materiais na água, e o regime do fluxo de água pode afetar diversos *habitats*. Além disso, a hidrologia está estreitamente relacionada às condições climáticas e, portanto, modelos hidrológicos e atmosféricos deveriam estar acoplados, sendo que, na prática, um estreito acoplamento torna-se bastante difícil, uma vez que modelos atmosféricos trabalham com resoluções espaciais muito maiores que as utilizadas na modelagem hidrológica (MAIDMENT, 1993).

Os modelos hidrológicos apresentam tipologia diversa (MORIASI, 2012). Assim, pode-se distinguir os modelos tendo em conta o seu objetivo (simulação ou otimização). Quanto à gênese, esta pode ser empírica, conceptual ou de processos físicos. No que diz respeito à discretização espacial, as arquiteturas variam de agregadas a distribuídas. O tempo é também uma dimensão relevante a ser levada em conta, havendo modelos orientados para simular eventos isolados e outros para a simulação contínua.

**Há uma estreita relação entre a modelagem hidrológica, a biológica e a ecológica, pois o transporte de materiais pela água é influenciado por atividades biológicas.**

A bacia hidrográfica é o objeto de estudo da maioria dos modelos hidrológicos, reunindo as superfícies que captam e despejam água sobre um ou mais canais de escoamento que desembocam em uma única saída. A bacia pode constituir a unidade espacial para modelos agregados que consideram as propriedades médias para toda a bacia. Diversas abordagens podem ser consideradas na subdivisão da bacia a fim de considerar suas características espacialmente distribuídas (RENNÓ, 2000).

A modelagem hidrológica é utilizada como ferramenta para a obtenção de um conhecimento mais aprofundado a respeito dos fenômenos físicos envolvidos e na previsão de cenários (MORAES, 2003). O modelo hidrológico abarca um sistema de equações e procedimentos compostos por variáveis e parâmetros que estão sendo cada vez mais utilizados em estudos ambientais, para ajudar a entender o impacto das mudanças no uso da terra e para prever alterações futuras nos ecossistemas (SILVA, 2007).

Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo descrever um breve histórico da modelagem hidrológica e apresentar os principais tipos de modelos hidrológicos e suas aplicabilidades.

## 1 Metodologia

Foi realizado um levantamento breve do histórico de modelagem hidrológica, apresentando os principais conceitos, como estes surgiram e de que forma se desenvolveram. Foi classificado com base em sua conceituação. As principais aplicações da modelagem hidrológica e as diversas áreas apoiadas pela modelagem hidrológica.

Dois grandes grupos de modelos hidrológicos surgiram, como os **modelos estocásticos**, que fazem uso das séries observadas de vazões em determinados pontos e, a partir de certas hipóteses sobre seu comportamento, permitem que estas sejam representadas por um dos diversos tipos de modelos de séries temporais normalmente utilizados; e os **modelos determinísticos** ou **conceituais**, cujo objetivo reside em representar o sistema físico natural (isto é, os processos do ciclo hidrológico), de modo que, a partir de dados de entrada, tais como os volumes precipitado e evaporado, condições iniciais de umidade do solo, cobertura vegetal, entre outros, possam ser fornecidas as séries de vazões. Tais modelos são usualmente denominados como modelos chuva-vazão.

Ao se referir aos modelos hidrológicos, é necessário sempre ter em mente a classe dos modelos determinísticos. Dependendo da forma como os processos físicos são representados no modelo, pode-se empreender algumas subdivisões nesta categoria. Nos modelos chuva-vazão, os processos físicos podem ser representados através de equações diferenciais, ou por formas simplificadas baseadas nestas. Usualmente tem sido adotada a representação física dos processos através de um conjunto de reservatórios com taxa de recessão linear.

Um modelo é dito estocástico quando pelo menos uma das variáveis envolvidas tem comportamento aleatório. Por exemplo, o nível futuro de um reservatório depende da vazão afluente futura, que é uma variável aleatória com uma dada distribuição de probabilidade. Caso os conceitos de probabilidade sejam negligenciados durante a elaboração de um modelo, este será denominado determinístico.

Modelos concentrados são aqueles que não consideram a variabilidade espacial das variáveis hidrológicas envolvidas no processo modelado. Nesses modelos, a principal variável é o tempo. Na modelagem concentrada do processo chuva-vazão de uma bacia hidrográfica, por exemplo, todas as variáveis do sistema são avaliadas em termos da média espacial. Isso significa que chuva, evaporação, infiltração, vazões e outras variáveis são consideradas em termos médios na bacia.

## 2 Modelagem hidrológica: Breve histórico

De acordo Tucci (2005), os modelos hidrológicos surgiram com a necessidade de se obter séries hidrológicas mais longas e representativas de vazões para diferentes projetos de recursos hídricos. As séries de precipitação, normalmente, são mais longas que as de vazão. Além disso, com a modificação das bacias pela construção de obras hidráulicas e alterações no uso do solo, as séries de vazões deixaram de ser homogêneas ou estacionárias. Partindo da precipitação, é possível determinar ou estimar as vazões desconhecidas para os novos cenários existentes ou previstas para as bacias.

A modelagem hidrológica surgiu, há mais de um século, a partir do equacionamento de alguns processos hidrológicos, como, por exemplo, o Método Racional, proposto por Mulvaney por volta de 1850, destinado a prever a vazão máxima decorrente de um evento de chuva. Esse método foi registrado na literatura por suas aplicações no projeto de redes de esgoto nos últimos anos do século XIX (TODINI, 2007; LIMA, 2011).

Segundo Fayal (2008), os grandes avanços começaram, de fato, a partir de 1930, quando agências governamentais de países desenvolvidos começaram a desenvolver seus próprios programas de pesquisas hidrológicas. Os modelos desenvolvidos nessas pesquisas tratavam de descrever os processos de cada componente do ciclo hidrológico. Em 1932, Sherman

desenvolveu o Hidrograma Unitário. Em 1933, Horton desenvolveu a Teoria da Infiltração. Com o aumento da disponibilidade de computadores, a partir do final da década de 1950, criaram-se condições que propiciaram um acelerado processo de desenvolvimento de modelos hidrológicos baseados em conceitos físicos, sendo esta uma alternativa em relação aos modelos até então existentes e que utilizavam somente métodos estocásticos (TUCCI, 1998). Com a disseminação do uso de computadores nas décadas de 1960 e 1970 e a maior disponibilidade de dados hidrometeorológicos, a abordagem espacial distribuída começou a ser aplicada na modelagem hidrológica (FREEZEE; HARLAN, 1969; BEVEN, 1979). Desde então, a modelagem hidrológica tem sido desenvolvida e tem originado modelos diversos, variando de acordo com os objetivos e a escala de aplicação, desde modelos voltados para o dimensionamento de reservatórios até modelos cujo objetivo é prever alterações nas vazões de uma bacia devido a mudanças climáticas.

Os modelos têm sido utilizados para prever eventos futuros, potencialmente danosos à sociedade, relacionados com o regime hídrico e para auxiliar os processos de tomada de decisão nas políticas públicas. Uma vez que os modelos podem ser usados para prever condições futuras por meio de simulação, eles são ferramentas bastante úteis para lidar com problemas ambientais e possíveis alternativas para atenuar impactos.

De forma geral, nas últimas décadas, os modelos hidrológicos se desenvolveram em dois sentidos: modelos que buscam representar com maior precisão, e de forma distribuída, os processos hidrológicos; e modelos que tratam de forma empírica a distribuição dos parâmetros em áreas de grande magnitude. Essa visão está relacionada com a escala dos processos no sistema físico (FAYAL, 2008).

## 2.1 Classificação dos Modelos Hidrológicos

O QUADRO 1 mostra que os modelos podem ser classificados sob diferentes aspectos.

Comumente, os modelos são classificados, dentre outras formas, de acordo com o tipo de variáveis utilizadas na modelagem (estocásticos ou determinísticos), o tipo de relações entre essas variáveis (empíricos ou conceituais), a forma de representação dos dados (discretos ou contínuos), a existência ou não de relações espaciais (concentrados ou distribuídos) e a existência de dependência temporal (estacionários ou dinâmicos) (MOREIRA, 2005).

QUADRO 1 – Tipos de modelos hidrológicos

<b>Modelos Determinísticos</b>
São aqueles modelos que produzem respostas idênticas para o mesmo conjunto de entradas, mesmo quando uma variável de entrada tiver caráter aleatório.
<b>Modelos Estocásticos</b>
São aqueles modelos quando uma ou mais variáveis envolvidas na modelagem têm um comportamento aleatório, possuindo distribuição de probabilidade.
<b>Modelos Empíricos</b>
São ditos empíricos quando sua formulação não possui nenhuma representação explícita dos processos físicos da bacia, podendo possuir uma característica regionalista.
<b>Modelos Conceituais</b>
Os modelos conceituais são baseados nas equações que descrevem o processo físico conceitual ou hipotético, não sendo necessariamente baseado no processo real.
<b>Modelos Concentrados</b>
Nos modelos concentrados, a área da bacia é representada de forma única, isto é, homogênea, não sendo possível a distribuição das características físicas relacionadas ao solo, à vegetação e à chuva. No seu desenvolvimento são atribuídos valores médios representativos para toda a área de acordo com cada parâmetro do modelo.
<b>Modelos Distribuídos</b>
Estes modelos permitem que toda a área seja dividida em unidades irregulares ou regulares, consideradas como homogêneas, reconhecendo desta forma a distribuição espacial das variáveis e dos parâmetros considerados. Este tipo de modelo permite a manipulação de dados de pluviometria levando em consideração sua variabilidade espacial, sendo, portanto, mais representativa do que real.

FONTE: Claker (1973, adaptado)

### 3 Principais Aplicações da Modelagem Hidrológica

Os modelos hidrológicos são essenciais para a predição e quantificação dos fenômenos físicos que ocorrem na natureza, visto a impossibilidade de se quantificar diretamente tais fenômenos. Desse modo, caracterizam-se como ferramentas essenciais para o preenchimento de diversas lacunas de informações necessárias no planejamento e gestão de Recursos Hídricos. Lou (2010) elenca as principais aplicações da modelagem hidrológica como sendo:

- **Análise de consistência e preenchimento de falhas:** Devido à facilidade de operação e custo, é normal existirem séries mais longas de precipitação do que de vazão. Portanto, através do modelo, é possível, após o ajuste, estender a série de vazão com base na precipitação. O modelo também é utilizado para analisar a consistência da curva-chave, dos níveis e precipitações observados, além de permitir a verificação de alterações no rio e na bacia.
- **Previsão de vazão:** O controle de cheia, a operação de obras hidráulicas, a navegação, entre outros, dependem do conhecimento antecipado da ocorrência da vazão. Esse tipo de estimativa da vazão pode ser obtido com base na precipitação conhecida, na vazão de um posto de montante ou na correspondente combinação. As características da simulação para esse objetivo são diferentes das demais, no entanto, modelos semelhantes podem ser utilizados, mas com estruturas computacionais diferentes. O modelo de previsão em tempo atual deve buscar utilizar ao máximo as informações disponíveis no momento da previsão, atualizando parâmetros e/ou variáveis.

Os modelos hidrológicos são essenciais para a predição e quantificação dos fenômenos físicos que ocorrem na natureza.

- **Dimensionamento e previsão de cenários de planejamento:** Conhecida a precipitação e o risco de sua ocorrência, é possível estimar a vazão resultante para cenários de uso e modificação da bacia, visando ao dimensionamento ou planejamento de alternativas de desenvolvimento do sistema. Nesse caso, os modelos hidrológicos utilizados podem ter algumas limitações quanto à simulação de certos cenários de desenvolvimento diferentes daquele do ajuste, como, por exemplo, a modificação do uso do solo.
- **Efeitos resultantes da modificação do uso do solo:** A análise do escoamento resultante da modificação do uso do solo é um problema complexo, que requer uma metodologia mais sofisticada que as utilizadas nas aplicações anteriores. Os modelos existentes para modificações do solo são, em sua maioria, conceituais, possuem muitas formulações empíricas para representar os processos e logo os parâmetros acabam se relacionando mais qualitativamente do que quantitativamente com a física da bacia. Mesmo nessas condições, os parâmetros englobam várias características da bacia, o que dificulta qualquer análise quanto ao resultado da modificação de qualquer característica da bacia. Isso ocorre, por

exemplo, com o desmatamento de grandes áreas, com a urbanização acentuada da bacia, entre outros. Modelos que representam o processo físico em maior detalhe e com menor empirismo apresentam sérias limitações devido à heterogeneidade da bacia. Visto isso, verificam-se alguns tipos de modelos, características e usos na modelagem hidrológica no QUADRO 2.

QUADRO 2 – Tipos de modelos, características e usos na modelagem hidrológica

Nome	Tipo	Estrutura	Características	Usos
Precipitação-Vazão	Determinístico Empírico Conceitual	Comportamento	Calcula a vazão de uma bacia a partir da precipitação.	Extensão de séries de vazão; dimensionamento; previsão em tempo atual; avaliação do uso da terra.
Vazão-Vazão	Determinístico Empírico Conceitual		Calcula a vazão de uma seção a partir de um ponto a montante.	Extensão de séries de vazões; Dimensionamento; previsão de cheia.
Geração estocástica de vazão	Estocástico		Calcula a vazão com base nas características da série histórica.	Dimensionamento do volume de um reservatório.
(fluxo saturado)	Determinístico		Determina o movimento, vazão potencial de águas subterrâneas a partir de dados de realimentação, bombeamento etc.	Capacidade de bombeamento; nível do lençol freático; iteração rio-aquífero etc.
Hidrodinâmico	Determinístico		Sintetiza vazões em rios e rede de canais.	Simulação de alterações do sistema; efeitos de escoamento de jusante.
Qualidade da água (de rios e reservatórios)	Determinístico		Simula a concentração de parâmetros de qualidade da água.	Impacto de efluentes; eutrofização de reservatórios; condições ambientais.
Rede de canais e condutos	Determinístico	Comportamento e otimização	Otimiza o diâmetro dos condutos e verifica as condições de projeto.	Rede de abastecimento de água; rede de irrigação.
(operação de reservatórios)	Estocástico Determinístico		Determina a operação ótima de sistemas de reservatórios.	Usos múltiplos.
Planejamento e gestão de sistemas múltiplos	Estocástico, determinístico	Comportamento, otimização e planejamento	Simula condições de projeto e operação de sistemas (usa vários modelos).	Reservatórios, canais, estações de tratamento, irrigação, navegação fluvial etc.

FONTE: Fayal (2008, adaptado)

## Conclusão

A modelagem hidrológica é uma ferramenta científica desenvolvida com o intuito de se compreender e representar o funcionamento das bacias hidrográficas e simular diferentes cenários. Porém, para sua utilização, é necessária uma boa definição dos objetivos do estudo abordado, visto que isso definirá o grau de detalhamento do modelo a ser adotado.

Outros fatores que devem ser levantados na seleção de um modelo hidrológico estão relacionados com a variabilidade temporal e espacial, as características físicas e climáticas da bacia em estudo. Além disso, a disponibilidade de informações é um fator essencial na seleção do modelo a ser utilizado, pois, em geral, quanto mais detalhado o modelo, maior exigência de dados este irá requerer. De um modo geral, a modelagem hidrológica é um importante recurso para o auxílio da tomada de decisão em projetos que envolvam recursos hídricos, possibilitando a adoção de técnicas mais eficientes na implantação de projetos.

Porém, faz-se necessária a ampliação da rede de informações físicas e climatológicas das bacias hidrográficas, possibilitando que a escolha do modelo adotado seja baseada na necessidade da problemática em estudo e não na disponibilidade de dados, o que é bastante comum no Brasil.

- Recebido em: 21/06/2016
- Aprovado em: 23/06/2017

## Referências

- BEVEN, K; KIRKBY, M. A physically based variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin*, Oxford, GB, v. 24, p. 43-69, 1979.
- CUNHA, L. K. da. **Sistemas avançados de previsão hidrológica e operação hidráulica em tempo real**. 2004. 239 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
- FREEZE, R. A.; HARLAN, R. L. Blueprint for a physically-based, digitally simulated hydrologic response model. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, NL, v. 9, p. 237-258, 1969.
- LIMA, L. S. de. **Implementação de um modelo hidrológico distribuído na plataforma de modelagem dinâmica**. 2011. 95 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011
- LOU, R. F. **Modelagem hidrológica chuva-vazão e hidrodinâmica aplicada na bacia experimental do Rio Piabanha/RJ**. 2010. 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- MAIDMENT, D. R. GIS and hydrologic modeling. In: GOODCHILD, M. F.; PARKS, B. O.; STEYAERT, L. T. **Environmental modeling with GIS**. New York: Oxford University, 1993. p. 147-167.
- MOREIRA, I. A. **Modelagem hidrológica chuva-vazão com dados de radar e pluviômetros**. 2005. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambientais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- MORIASI, D. B. et al. Hydrologic and water quality models: use, calibration, and validation. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, Mich., v. 55, n. 4, p. 1241-1247, 2012.
- RENNÓ, D. C.; SOARES, J. V. **Modelos hidrológicos para gestão ambiental**. Relatório Técnico Parcial “Métodos, modelos e geoinformação para a gestão ambiental”. Brasília: MCTI; INPE, 2000. Disponível em: <[http://www.dpi.inpe.br/geopro/modelagem/relatorio\\_modelos\\_hidrologicos.pdf](http://www.dpi.inpe.br/geopro/modelagem/relatorio_modelos_hidrologicos.pdf)>. Acesso em: 24 mar. 2016.
- SILVA, L. P. E. **Modelagem e geoprocessamento na identificação de áreas com risco de inundação e erosão na bacia do Rio Cuiá - João Pessoa**. 2007. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007.
- TODINI, E. Hydrological catchment modelling: past, present and future. **Hydrology and Earth System Sciences**, Oxford, GB, v. 11, n. 1, p. 468-482, 2007.
- TUCCI, C. E. M. Modelos hidrológicos distribuídos. **Rhama**, Porto Alegre, fev. 2010. Disponível em: <<http://rhama.net/wordpress/?p=134>>. Acesso em: 24 mar. 2016.