



**ESTIMATIVA DE VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS UTILIZANDO O MODELO IPH II NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO URUÇUÍ PRETO – PI, BRASIL**

**DAILY AVERAGE FLOW ESTIMATION USING THE IPH II MODEL IN THE URUÇUÍ PRETO RIVER  
WATER BASIN - PI, BRAZIL**

Raimundo Mainar de Medeiros<sup>1</sup>, Manoel Vieira de França<sup>2</sup>, Romildo Morant de Holanda<sup>3</sup>, Luciano Marcelo Falle Saboya<sup>4</sup>, Fernando Cartaxo Rolim Neto<sup>5</sup>, Wagner Rodolfo de Araújo<sup>6</sup>, João Carlos Montenegro Coutinho Junior<sup>7</sup>

**Submetido em: 10/09/2021**

e29749

**Aprovado em: 20/10/2021**

<https://doi.org/10.47820/recima21.v2i9.749>

**RESUMO**

A estimativa do escoamento superficial em bacias hidrográficas é de fundamental importância para a preservação dos recursos naturais, entretanto esse é um processo complexo sob perspectiva da variabilidade especial, levando em conta a escassez de dados de vazão e a necessidade premente do conhecimento do valor dessa vazão. O conhecimento do regime pluvial e a sua conversão em vazão é de fundamental importância para a elaboração de projetos na área da bacia. Desta forma, deve-se realizar o gerenciamento dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto onde as potencialidades das vazões observadas e estimadas pelos modelos hidrológicos diferentes devem ser utilizadas nos pontos de captação de água ou em outros pontos de interesse para seu uso.

**PALAVRAS-CHAVE:** Simulação. Conservação de uso de solo e água. Drenagem urbana. Modelos e manejos hidrológicos. Disponibilidade hídrica

**ABSTRACT**

*Estimating surface runoff in watersheds is of fundamental importance for the preservation of natural resources, however this is a complex process from the perspective of special variability, given the scarcity of flow data and the urgent need to know the value of this flow. Knowledge of the rainfall regime and its conversion to flow is of fundamental importance for the elaboration of projects in the basin area. Thus, the management of water resources in the Uruçuí Preto river basin should be carried out where the potentialities of the flows observed and estimated by the different hydrological models should be used at the water catchment points or other points of interest for their use.*

**KEYWORDS:** *Simulation. Conservation of land and water use. Urban drainage. Hydrological models and managements. Water availability*

**INTRODUÇÃO**

As ações antrópicas e as mudanças climáticas têm provocado várias enchentes no Brasil e no mundo, devido à relação direta com a magnitude das chuvas (GRIMM, 2011; MIN, et al., 2011). Portanto, as informações dos índices pluviais e a sua distribuição espacialmente e temporalmente em estudos

<sup>1</sup> Pós-doutorado pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

<sup>2</sup> Prof. MSc pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

<sup>3</sup> Prof. do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

<sup>4</sup> Prof. Dr. pela Universidade Federal de Campina Grande.

<sup>5</sup> Graduando em Geografia pela Universidade Estácio de Sá – Recife.

<sup>6</sup> Prof. Dr. pela Universidade Federal de Rural de Pernambuco (UFRPE).

<sup>7</sup> Confederação dos Engenheiros Agrônomos do Brasil - CONFAEAB



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTIMATIVA DE VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS UTILIZANDO O MODELO IPH II NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO URUÇUÍ PRETO – PI, BRASIL  
Raimundo Mainar de Medeiros, Manoel Vieira de França, Romildo Morant de Holanda, Luciano Marcelo Falle Saboya,  
Fernando Cartaxo Rolim Neto, Wagner Rodolfo de Araújo, João Carlos Montenegro Coutinho Junior

relacionados ao manejo, conservação do solo e da água, e em construções de obras hidráulicas, visando definir a vazão de projetos (RODRIGUES, 2008; CECÍLIO, 2009; SANTOS, et al., 2010; ARAGÃO, 2013). Deste modo, os estudos de precipitações máximas intensas são realizados para ter uma prospecção do comportamento da chuva ao longo dos anos, podendo evitar futuras catástrofes.

Medeiros et al. (2013) avaliou a estimativa dos balanços hídricos e chegaram a seguinte conclusão, a retirada de água na área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto (BHRUP) ocorre nos meses de agosto a janeiro, as deficiências hídricas ocorrem entre os meses de outubro a janeiro, a reposição das águas acontece nos meses de fevereiro e março e os excedentes hídricos ocorrem entre os meses de abril a julho, desta forma a comunidade ribeirinha tem informações de como utilizar do sistema de irrigação nas atividades agrícolas independente dos períodos seco ou chuvoso. Segundo ainda o autor, a prática de ações voltadas para a prevenção dos recursos naturais faz-se necessário às informações hidrológicas, climatológicas, agroclimáticas e agroecológicas. O estudo se constitui em análise do clima e das disponibilidades dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos da área da BHRUP a qual se registrou Temperatura máxima anual é de 32,1 °C, mínima anual de 20,0 °C e a temperatura média anual de 26,1 °C; a umidade relativa do ar média anual é de 64,2%, a evapotranspiração média anual é de 2098,7 mm e a evaporação anual é de 1.470,7 mm. A insolação total anual é de 2.701,8 horas ano. As direções predominantes com maiores frequências de entrada foram: nordeste-sudeste com 19,0 vezes, leste-sudeste com 13,0 vezes e nordeste com 5 vezes no entorno da bacia. (MEDEIROS, et al., 2014). Em decorrência do crescimento da população, existe a necessidade do aumento do uso de terras cultiváveis, podendo conduzir à degradação do solo e dos recursos hídricos. Dessa forma, é muito importante o desenvolvimento de métodos ligados à gestão dos recursos naturais solo e água para minimizar os impactos sobre estes.

Os modelos hidrológicos podem ser úteis no manejo de bacias hidrográficas, tanto para seu planejamento quanto para avaliar o impacto de mudanças no uso da terra. Para isso o modelo necessita descrever os processos dominantes adequadamente, e ser aplicável numa bacia onde os solos e a vegetação variem espacialmente, de tal forma, que as predições possam auxiliar na tomada de decisão de qual uso do solo é o mais interessante para uma determinada situação conforme afirmações de Bruijnzeel (1997); O'Loughlin et al. (1990).

Desde épocas mais remotas que o homem procura conhecer, de forma empírica, e mais recentemente de forma científica, como se desenvolverão as complexas interações do meio ambiente.

Em recursos hídricos, procura-se sintetizar esse conhecimento através de modelos que possam quantificar qualificar e gerenciar a água disponível no ciclo hidrológico. A importância do gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos aumenta na proporção em que esses recursos se apresentam de forma escassa, especialmente nas regiões semiáridas e semiúmidas do mundo, onde ocorrem baixa taxa de pluviometria, alta taxa de evaporação e irregular distribuição espaço-temporal das chuvas. Nessas regiões a água é um elemento fundamental no quadro socioeconômico da região, gerando a necessidade de racionalização do seu uso. Portanto, o planejamento dos recursos hídricos ganha



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTIMATIVA DE VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS UTILIZANDO O MODELO IPH II NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO URUÇUI PRETO – PI, BRASIL  
Raimundo Mainar de Medeiros, Manoel Vieira de França, Romildo Morant de Holanda, Luciano Marcelo Falle Saboya,  
Fernando Cartaxo Rolim Neto, Wagner Rodolfo de Araújo, João Carlos Montenegro Coutinho Junior

dimensão fundamental; através dele se estabelecem diretrizes a serem seguidas para proporcionar um melhor aproveitamento, controle e conservação desses recursos Galvínio, (2002).

O planejamento e o gerenciamento dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica requerem um conhecimento profundo dos mesmos. Isto implica em dispor ao longo do tempo, assim como no espaço geográfico da bacia hidrográfica, de informações relativas às quantidades de água armazenadas, às vazões na rede de drenagem, aos usos dos recursos hídricos e a qualidade da água.

O abastecimento de água humano, a irrigação e o controle ambiental das bacias necessitam conhecer a distribuição temporal e espacial da vazão dos rios de pequenos mananciais. No âmbito do controle ambiental, o conhecimento do escoamento é fundamental para avaliar a qualidade da água de pequenos rios, decorrente de cargas pontuais e difusas. Para estimar as condições ambientais sujeitas a essas cargas poluidoras, é necessário conhecer as vazões de estiagem do rio.

No Nordeste Brasileiro (NEB), a maior parte das atividades humanas está baseada na exploração dos recursos naturais, e em especial ao extrativismo vegetal, o superpastejo de áreas nativas e a exploração agrícola por meio de práticas de manejo do solo inadequada (SAMPAIO, et al., 1997).

Silva et al. (2013) mostraram que o Estado do Piauí tem condições climáticas diferenciadas, com oscilação nos índices pluviométricos cuja origem é bastante individualizada, apresentando também temperaturas médias anuais relativamente variáveis. As precipitações têm grande variabilidade espacial e temporal, revelarem-se dois regimes chuvosos: no sul do Estado (novembro a março); na região central e norte, a estação chuvosa tem início no mês de dezembro, prolongando-se até maio. Os autores analisaram as variabilidades pluviométricas municipais entre os diferentes regimes pluviométricos para o estado do Piauí e comprovou-se que se têm áreas comuns de ocorrências de chuvas com os seus respectivos sistemas provocadores e inibidores e evidenciando os aspectos fisiográficos, relevo, fauna, flora e distância do mar. Observou-se que os fenômenos de macro, meso e microescalas são de grande importância para os regimes de chuvas do estado do Piauí, os quais seguem tempo cronológico de suas atividades e duração.

Em região de clima de áreas próximas contrastantes como o NEB e em especial o estado do Piauí, o monitoramento da precipitação, durante o período chuvoso é muito importante para tomada de decisões que tragam benefício para população. Um bom monitoramento da precipitação é uma ferramenta indispensável na mitigação de secas, cheias, enchentes, inundações, alagamentos (PAULA, et al., 2010).

A precipitação é de fundamental importância para a caracterização climática (FERREIRA DA COSTA, 1998). O monitoramento e a manutenção dos recursos hídricos têm valor para a sua gestão, pois fornece dados que contribuem para os planejamentos públicos e nos estudos que buscam o uso sustentável da água. Os dados pluviométricos, são essenciais para desenvolvimentos de estudos como os de (D'ALMEIDA, et al., 2006; COSTA, et al., 2007; SAMPAIO, 2007; COE, et al., 2009). Os autores concluíram que o desmatamento da floresta Amazônica está influenciando diretamente no desequilíbrio do meio ambiente, principalmente no ciclo hidrológico, onde em simulações mostraram um decréscimo significativo na evapotranspiração e na precipitação.



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTIMATIVA DE VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS UTILIZANDO O MODELO IPH II NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO URUÇUÍ PRETO – PI, BRASIL  
Raimundo Mainar de Medeiros, Manoel Vieira de França, Romildo Morant de Holanda, Luciano Marcelo Falle Saboya,  
Fernando Cartaxo Rolim Neto, Wagner Rodolfo de Araújo, João Carlos Montenegro Coutinho Junior

Os hidrólogos têm desenvolvido modelos matemáticos capazes de transformar a chuva em vazão, através de um conjunto de equações que procuram representar as diversas fases do ciclo hidrológico (TUCCI, 1998). Observar então que o relevo, geologia, tipo de solo e o tipo de ocupação do solo são parâmetros que, de uma forma ou de outra, devem ser incorporados ao modelo Beven et al. (1994).

Maksinovic (2001) alerta que as bacias devem ser usadas como unidade de planejamento e gerenciamento não só da água, mas também de outros recursos e atividades econômicas e humanas, onde qualquer intervenção deve ser estudada e avaliada suas consequências e benefícios para a bacia.

Na região semiárida, úmida, subúmida, cerrado, cerradão e na faixa de transição do NEB, onde os rios são intermitentes, o principal modo de armazenar água e torná-la disponível aos diversos usos que dela se faz, é através da construção de açudes que, ao barrar um curso de água, provocam o armazenamento.

Com base em estudos prévios sobre os solos da bacia hidrográficas, conduzidos por (JUNQUEIRA, 2006; GOMES 2005), é possível estimar a capacidade de armazenamento de água no solo no âmbito da simulação hidrológica, o armazenamento do solo corresponde ao armazenamento compreendido entre as umidades de saturação e o ponto de murcha permanente, conforme Collischonn et al. (2007).

A qualidade da simulação quando comparada com os dados históricos e algumas interpretações, são critérios apropriados para o propósito da validação, Stendinger et al. (1982). A validação dos modelos para a geração de vazões mensais requer que os valores sintéticos mantenham uma boa aproximação dos valores históricos (VIANA, 1986).

Entretanto, a simulação hidrológica do escoamento superficial em bacias hidrográficas é extremamente complexa; assim, para utilização de modelos computacionais aplicados à sua simulação, estes devem apresentar algumas características desejáveis Mello et al. (2008), como serem baseados no processo físico, no evento e na distribuição espacial das variáveis associadas ao fenômeno.

Na simulação de modelo sintético passado, presente e futuro, há diferenças entre a realidade dos eventos observados e estimados. Estas diferenças representam as incertezas dos modelos e uma forma de minimizá-las e selecionar o modelo com base em critérios físicos do sistema.

Deste modo o objetivo é de utilizar-se dos modelos IPH II e as médias-móveis para gerar vazões médias diárias e obter o melhor ajuste de dados e um dos modelos e elegê-lo como o mais apropriado para geração de séries sintéticas de vazões.

### MATERIAIS E MÉTODOS

A bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto (BHRUP), encontra-se preponderantemente encravada na bacia sedimentar do rio Parnaíba, constituindo-se como o principal tributário pela margem direita. Possui uma área total de 15.777 km<sup>2</sup>, representando 5% do território piauiense e abrange parte da região sudoeste, projetando-se do Sul para o norte em forma de lança, CONDEPI (2002). Localiza-se



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTIMATIVA DE VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS UTILIZANDO O MODELO IPH II NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO URUCUÍ PRETO – PI, BRASIL  
Raimundo Mainar de Medeiros, Manoel Vieira de França, Romildo Morant de Holanda, Luciano Marcelo Falle Saboya,  
Fernando Cartaxo Rolim Neto, Wagner Rodolfo de Araújo, João Carlos Montenegro Coutinho Junior

entre as coordenadas geográficas que determinam o retângulo de 07°18'16" a 09°33'06" de latitude sul e 44°15'30" a 45°31'11" de longitude oeste de Greenwich.

Os postos fluviométricos localizados nos municípios de Jerumenha e Cristino Castro registram vazões médias de  $6,9 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  a  $6,1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  no trimestre mais seco. E vazões médias de  $90 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  a  $54 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , no trimestre mais chuvoso. A bacia tem cota de 500 metros com uma extensão de 532 km, sua declividade média é  $2,1 \text{ mKm}^{-1}$ , com uma área de  $48,830 \text{ Km}^2$  abrangendo 49 locais, a precipitação média é de 913,9 mm com 37,86% em toda a bacia, exibe uma evapotranspiração de 1.470,7 mm sendo 62,14% em toda a bacia. Sua vegetação é típica das savanas formadas de estrato descontínuo por arbustivos e arbóreos caracterizados por troncos tortuosos, casca espessa, folhas cariáceas e dossel assimétrico.

Para a análise do comportamento climático intermunicipal da BHRUP utilizou-se dos dados pluviométricos médios mensais e anuais fornecidos através da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, (SUDENE, 1990) e da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Piauí (EMATERPI, 1991) para o período de 1960 a 1990. As séries dos dados diários pluviométricos são de trinta anos completos e com intervalo de coleta de dados que satisfaçam aos estudos de chuva-vazão e de caracterização dos padrões hidrológicos, os dados utilizados neste trabalho pertencem aos quarenta e nove locais que compõem a bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. (Figura 1).

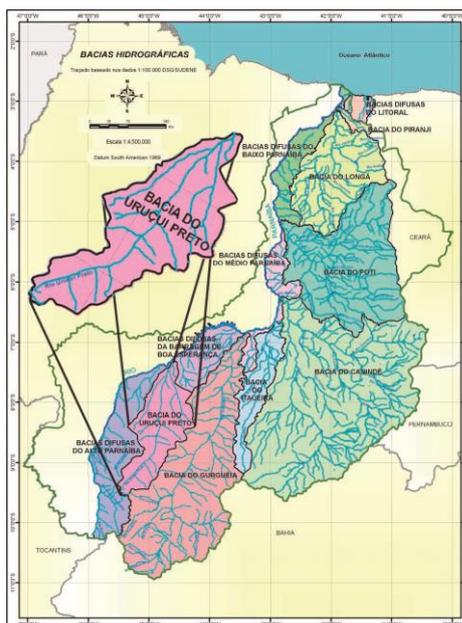
As principais séries de dados de precipitação utilizada consistem em registros diários, mensais e anuais coletados dos postos da EMATERPI (1991) e INMET (1991), os dados de vazões foram cedidos gentilmente pela Companhia de Hidrelétrica do São Francisco (CHESF, 2012) agência Teresina - PI distribuídas uniformemente sobre a Bacia no período de 01/12/2004 a 02/02/2011. No total foram utilizados 49 postos pluviométricos (municípios) distribuídos na BHRUP.

Para as plotagens dos dados e elaboração dos gráficos e tabelas utilizou-se do software em planilhas eletrônicas. Utilizou os dados observados nos horários sinóticos locais (09; 15 e 21 h) e aplicaram-se algumas estatísticas como média, desvio padrão, cálculos dos valores máximos e mínimos absolutos e coeficiente de variância com a finalidade de obterem-se os resultados.



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTIMATIVA DE VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS UTILIZANDO O MODELO IPH II NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO URUCUÍ PRETO – PI, BRASIL  
Raimundo Mainar de Medeiros, Manoel Vieira de França, Romildo Morant de Holanda, Luciano Marcelo Falle Saboya,  
Fernando Cartaxo Rolim Neto, Wagner Rodolfo de Araújo, João Carlos Montenegro Coutinho Junior



**Figura 1.** Localização da área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto.

**Fonte:** Medeiros, (2016).

De acordo com a COMDEPI (2002), a identificação e descrição da vegetação na região da BHRUP encontram-se:

- A partir do topo das chapadas, com a comunidade vegetal típica das savanas constituída de um estrato descontínuo composto de elementos arbustivos e arbóreos caracterizados por troncos tortuosos, casca espessa, folhas coriáceas e dossel quase sempre assimétrico. Entre as espécies mais frequentes estão o barbatimão, o pau terra de folha larga e a simbaíba, e a superfície do solo é recoberta por um estrato graminoso de capim agreste;
- A partir das vertentes e entre o topo das chapadas e o trecho plano por onde escoo o rio Uruçuí Preto, o cerrado se desenvolve de forma mais fechada, composto por espécies de maior porte, entre as quais o pau d'arco, o Gonçalo Alves.

### MODELOS HIDROLÓGICOS

Tucci (2005) define que um modelo é a representação simplificada de algum objeto e/ou sistema, numa forma de fácil acesso e uso, com o objetivo de entendê-lo e buscar suas respostas para diferentes entradas.

Devido à complexidade da natureza física, o modelo (IPH II) leva em consideração algumas simplificações dos fenômenos existentes no processo. Entretanto, estas simplificações não devem invalidar os resultados obtidos pelo modelo, sendo que as diferenças entre a realidade física do sistema e a do modelo devem ser aceitáveis para os fins almejados. Isso justifica a simplificação dos sistemas e a sua conseqüente utilização.

A regionalização hidrológica, em geral, caracteriza-se por uma variedade de métodos que geral e/ou utilizam das informações regionais para sintetizar os dados de vazão. Estas informações podem ser

**RECIMA21 - Ciências Exatas e da Terra, Sociais, da Saúde, Humanas e Engenharia/Tecnologia**



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTIMATIVA DE VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS UTILIZANDO O MODELO IPH II NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO URUÇUI PRETO – PI, BRASIL  
Raimundo Mainar de Medeiros, Manoel Vieira de França, Romildo Morant de Holanda, Luciano Marcelo Falle Saboya,  
Fernando Cartaxo Rolim Neto, Wagner Rodolfo de Araújo, João Carlos Montenegro Coutinho Junior

características fisiográficas e hidrometeorológicas da bacia e parâmetros estatísticos calculados a partir das séries de vazões de postos da região. São exemplos típicos de métodos de regionalização aqueles que fazem ajuste de uma distribuição estatística a uma variável (ou a um parâmetro ou a uma função hidrológica), combinando-a com a regressão desta mesma variável com características físicas das bacias (a área contribuinte quase sempre é uma delas) e características hidrometeorológicas (pluviometria média anual). Fica claro, assim, que, entre várias regionalizações usuais (vazões máximas, médias e mínimas), a regionalização da curva de permanência é apenas um entre vários estudos possíveis.

Modelos hidrológicos representam ferramentas poderosas em análises científicas que se usadas adequadamente permitem entender e representar melhor o comportamento da Bacia Hidrográfica. A simulação hidrológica é limitada pela heterogeneidade física da bacia e dos processos envolvidos, o que tem propiciado o desenvolvimento de um grande número de modelos que se diferenciam em função dos dados utilizados, discretização das propriedades de representação dos processos e dos objetivos a serem alcançados.

Os entraves básicos nos modelos hidrológicos são: quantidade e qualidade dos dados hidrológicos disponíveis, afora da dificuldade de formular matematicamente alguns processos e a simplificação do comportamento espacial das variáveis e fenômenos do modelo.

Souza et al. (2010) utilizaram o modelo IPHS I na Bacia Hidrográfica do rio Araguari com o intuito de gerar e simular a variação da vazão com a precipitação e de verificar possível impacto ambiental na vazão de saída com a construção de barragens ao longo do Rio. O modelo hidrológico apresentou resultados relevantes na representação do hidrograma em pontos específicos na Bacia, mas com pequenas discrepâncias entre valores dos fluviogramas observados e os simulados na Bacia, os quais foram decorrentes da ausência de dados em algumas localidades na Bacia Hidrográfica, dificultando a análise sobre o comportamento hidráulico.

A regionalização de vazões é uma técnica usada para suprir a carência de informações hidrológicas em locais com pouca ou nenhuma disponibilidade de dados (ESLAMIAN, et al., 2008; RAO, et al., 2006; SAMUEL, et al., 2011), sendo definida por Fill (1987) como um processo de transferência de informações de um local para outro. A referida técnica relaciona os processos hidrológicos com características físicas e climáticas de uma determinada bacia.

O método da regressão múltipla é uma forma de determinar a magnitude das vazões para um período de retorno e para a transferência de dados de vazão de locais em que há medição para outros, com pequena ou nenhuma disponibilidade de informações (MALEKINEZHAD, et al., 2011).

Os modelos chuva versus vazão aceitam simular a parte do processo do ciclo hidrológico entre a precipitação e a vazão, sendo possível completar períodos desconhecidos de vazão e cota, além de estimá-las para diferentes cenários de bacias hidrográficas e prever a ocorrência de cheias ou eventos extremos. Dentre os modelos de chuva versus vazão, há aqueles específicos que podem ser usados para tais fins, dependendo das características da bacia (GERMANO, et al., 1998).



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTIMATIVA DE VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS UTILIZANDO O MODELO IPH II NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO URUÇUI PRETO – PI, BRASIL  
Raimundo Mainar de Medeiros, Manoel Vieira de França, Romildo Morant de Holanda, Luciano Marcelo Falle Saboya,  
Fernando Cartaxo Rolim Neto, Wagner Rodolfo de Araújo, João Carlos Montenegro Coutinho Junior

As diferentes fases do processo de transformação de precipitação em vazão são modeladas por algoritmos matemáticos. Na literatura há diferentes algoritmos compostos, os quais identificam modelos tais como HEC-1, SSARR, IPH II, STANFORD IV e HYMO entre outros (VIEGAS, et al., 2004). Segundo Tucci (1993), a estrutura modular do modelo IPHS II tem como objetivo:

- (a) aperfeiçoar a concepção dos processos hidrológicos e dos algoritmos utilizados nas simulações;
- (b) ensino e utilizações de modelos matemáticos;
- (c) proporcionar alternativas de escolha do mais perfeito conjunto de algoritmos para uma bacia específica. O sistema de modulação pode ser obtido em versão WINDOWS para PC, ou em versão para a programação Fortran. No primeiro caso, a entrada de dados é disponibilizada em forma amigável mediante telas explicativas, programadas em DELPHI, permitindo fácil integração com o usuário. Os algoritmos de cálculo e a saída foram programados em Fortran devido à versatilidade para programação de complicados algoritmos de cálculo.

Internamente o sistema está modulado segundo operações hidrológicas, oferecendo as seguintes opções:

- (a) transformação chuva-vazão;
- (b) escoamento em rios;
- (c) propagação em reservatórios;
- (d) entrada, somas ou derivação de hidrogramas.

Para as fases acima descritas várias opções são providas das características físicas da bacia e dos dados históricos. O modelo compõe os resultados de acordo com a numeração sequencial informada pelo usuário. Cada número identifica o hidrograma resultante no final da bacia ou trecho.

O sistema é formado por três componentes

Sendo:

- (a) leitura de dados e manejo de arquivos;
- (b) modelos; e
- (c) impressão e graficação.

A primeira componente (Versão WINDOWS) permite gerar os arquivos de informações que contém os parâmetros, dados hidrológicos e/ou características físicas da bacia de acordo com as necessidades do usuário. Para facilitar a entrada de dados, a interface dispõe de bases de valores dos distintos parâmetros da metodologia de simulação, para distintas situações, podendo ser escolhido o parâmetro em função da informação contida na própria base de dados ou fornecida pelo usuário (TUCCI, 1993).

A segunda componente está dividida em dois módulos:

- (a) módulo da Bacia; e
- (b) módulo do Rio.

Cada módulo é formado por submódulos que realizam operações hidrológicas específicas. Por sua vez, cada submódulo apresenta como opções diferentes algoritmos de cálculo.



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTIMATIVA DE VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS UTILIZANDO O MODELO IPH II NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO URUÇUI PRETO – PI, BRASIL  
Raimundo Mainar de Medeiros, Manoel Vieira de França, Romildo Morant de Holanda, Luciano Marcelo Falle Saboya,  
Fernando Cartaxo Rolim Neto, Wagner Rodolfo de Araújo, João Carlos Montenegro Coutinho Junior

### DESCRIÇÃO DO MODELO IPH II

O modelo IPH II é um modelo conceitual que simula o processo chuva-vazão, com a manipulação de um número mínimo de parâmetros, e baseia-se nos seguintes algoritmos: Perdas por evaporação e interceptação; separação de escoamento; propagação dos escoamentos superficiais e subterrâneos.

Os parâmetros que compõem o modelo são:

$I_0$  - capacidade de infiltração par  $t = 0$  ( $\text{mmh}^{-1}$ );

$I_b$  - capacidade de infiltração mínima ( $\text{mmh}^{-1}$ );

$h$  - parâmetro de decaimento da infiltração no solo (adimensional);

$R_{\text{máx}}$  - capacidade máxima do reservatório de interceptação (mm).

$K_{\text{sup}}$  – parâmetro de propagação do escoamento superficial (h);

$K_{\text{sub}}$  – parâmetro de propagação do escoamento subterrâneo (h);

$T_c$  – tempo de concentração da bacia (h);

AIMP – Porcentagem de área impermeável na bacia (%).

### AJUSTE E CALIBRAÇÃO DO IPH2

Enquanto a calibração minimiza os erros entre a saída do modelo e os dados observados, este processo se torna complicado em virtude do grande número de parâmetros não mensuráveis que precisam ser estimados (VEITH, et al., 2010).

O ajuste e a calibração é uma das etapas consideradas nos modelos hidrológicos, pois visa determinar os valores dos parâmetros do modelo, para que os valores calculados se aproximem aos resultados medidos em campo. Esta calibração pode ser por tentativa e erro ou automática.

O método da calibração por tentativa e erro consiste em testar diferentes conjuntos de parâmetros até alcançar um vetor de valores dos parâmetros que resulte numa representação mais próxima da resposta natural da bacia hidrográfica para aquela precipitação. Este método exige a experiência do usuário do modelo, pois a correta interpretação dos parâmetros proporciona a convergência dos valores para um nível de precisão desejada.

O método de calibração automática, em geral consiste na busca de um vetor adequado de parâmetros, mediante métodos matemáticos de otimização. A otimização é realizada a partir da minimização ou maximização de uma função objetivo baseada nos erros entre as séries de vazão observada e simulada. A função objetivo é a representação numérica desta diferença, entre os valores das vazões observadas e das calculadas pelo modelo, e a calibração consiste na busca de um vetor de parâmetros representativos, com o ideal de encontrar o ponto ótimo desta função. A cada iteração, o algoritmo calcula o novo valor da função objetivo, compara com o último valor calculado e segue na direção do valor ótimo para a função objetivo, quando então se verifica a convergência e encerra-se o processo iterativo (TUCCI, 2005).

A versão WIN\_IPH II do modelo IPH II, possibilita realizar a calibração do modelo de forma automática, além do manual, com base em dois métodos numéricos de otimização: monobjetivo e



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTIMATIVA DE VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS UTILIZANDO O MODELO IPH II NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO URUÇUÍ PRETO – PI, BRASIL  
Raimundo Mainar de Medeiros, Manoel Vieira de França, Romildo Morant de Holanda, Luciano Marcelo Falle Saboya,  
Fernando Cartaxo Rolim Neto, Wagner Rodolfo de Araújo, João Carlos Montenegro Coutinho Junior

multiobjectivo. O algoritmo SCE-UA é utilizado na calibração monobjetivo e o algoritmo MOCOM-UA são utilizados na calibração automática multiobjectivo. Esta versão tem características de promover uma interface melhor entre o modelo e o usuário, através da apresentação dos resultados de diferentes interfaces em forma de gráficos e animações (BRAVO, et. al., 2007).

Obtidos os valores pluviométricos dos postos pluviométricos e as peculiaridades das sub-bacias, os parâmetros (Tabela 1) do modelo IPH II foram estimados de tal forma que a vazão nos pontos de controle localizados nos municípios de Uruçuí e Jerumenha se equiparasse com os valores observados. Os pontos localizados a montante do rio Uruçuí Preto está a 180 e 230 km de sua afluência, com propósito de verificar influência de sistemas precipitantes neste ponto e, conseqüentemente, no leito do rio estudado.

Tabela 1. Parametrização do modelo de escoamento superficial IPH2

Parâmetros	$I_o$ (mm/h)	$I_b$ (mm/h)	H	$R_{m\acute{a}x}$ (mm)	% da Área Impermeável	VBEIC* (m <sup>3</sup> /s/Km <sup>2</sup> )
Uruçuí	8	3	0,5	25	0,10	0,01
Jerumenha	11	5	0,5	28	0,10	0,01

\*Vazão de base específica no início da chuva (m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>Km<sup>-2</sup>).

Os dados utilizados na parametrização do modelo foram da literatura (GERMANO, et al., 1998; BRUN, et al., 2001; TUCCI, 2005). Para tornar os dados próximos dos resultados observados variaram-se o  $I_o$  entre 6 e 15 mmh<sup>-1</sup>, para  $I_b$  utilizou-se dos valores entre 2 e 20 mmh<sup>-1</sup> modificados constantemente até a resposta almejada (resultados equiparados aos observados). Visto que o parâmetro de declínio da infiltração no solo H é extremamente sensível, determinou-se um valor constante baseado nos valores encontrados na literatura, (como este parâmetro é adimensional adotou-se o valor 0,5). Deste modo, trabalharam-se apenas os valores de infiltração  $I_o$  e de percolação  $I_b$ . Os valores de  $R_{m\acute{a}x}$  foram estimados entre  $1,4 < R_{m\acute{a}x} < 33$ . A porcentagem da área impermeável variou 0,10% a 0,20%, pois em sua grande extensão do rio a bacia está inserida em área rural. Por fim, a vazão de Base Específica no Início da Chuva (VBEIC) que é a vazão estimada para o início da chuva, é inversamente proporcional à área da sub-bacia em km<sup>2</sup>. Os valores de VBEIC foram estimados na ordem de 0,002 a 0,02 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>km<sup>-2</sup> para a BHRUP.

### MODELOS MÉDIAS MÓVEIS

Nos modelos médias móveis  $\tilde{Y}_t$  é considerado linearmente dependente de um número finito, q, de ruídos brancos, ou seja,  $\tilde{Y}_t$  representa o modelo linear, porém com o somatório truncado em q termos. Representado por:

$$\tilde{Y}_t = \varepsilon_t - \Theta_1 \varepsilon_{t-1} - \Theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \Theta_q \varepsilon_{t-q}$$



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTIMATIVA DE VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS UTILIZANDO O MODELO IPH II NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO URUÇUI PRETO – PI, BRASIL  
Raimundo Mainar de Medeiros, Manoel Vieira de França, Romildo Morant de Holanda, Luciano Marcelo Falle Saboya,  
Fernando Cartaxo Rolim Neto, Wagner Rodolfo de Araújo, João Carlos Montenegro Coutinho Junior

Onde

Os  $\Theta'_s$  são os coeficientes das médias móveis;

os  $\varepsilon_t$  o ruído branco;

e  $\bar{Y}_t$  é a vazão mensal do mês t representando o operador média móvel de ordem q por:

$$\Theta_q(B) = 1 - \sum_{j=1}^q \theta_j B^j$$

Também podendo ser expressa por:

$$\bar{Y}_t = \Theta_q(B) \varepsilon_t$$

Esse modelo contém (q+2) parâmetros desconhecidos:  $\mu, \phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p, \sigma^2\varepsilon$ , sendo estimado pelo método semelhante ao do auto regressivo. Não há justificativas estatísticas, todavia para o uso de modelos com ordem q superior a 2, de acordo com Box et al. (1970).

### VERIFICAÇÃO DO MODELO

Demonstrar que os modelos demandados foram implantados corretamente e que os parâmetros estatísticos estejam de comum acordo entre os modelos estudados.

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

Vazão observada e estimada, vazão estimada pelo método da média móvel para 5 e 10 anos e precipitação para a área da BHRUP

A região apresenta baixos índices de cobertura vegetal nativa sendo a maioria da área classificada como cerrado e cerradão são áreas alteradas pelas atividades humanas, com descaracterização pela agropecuários, solos expostos pelo desmatamento, queimadas, mineração e erosão, sendo a vegetação formada de extrato arbustivo espaçado e a maior parte do antropismo centra-se nas margens das bacias hidrográficas.

Apesar da intensidade das atividades verificadas nos trabalhos de campo, a somatória das variáveis analisadas do conjunto ambiental não apresenta resultados alarmantes de qualidade ambiental, caso se levasse em conta uma análise aprofundada dos setores hidrográficos do ponto de vista do alto, médio e baixo curso da água, certamente apresentaria valores diferentes à proximidade das sedes municipais é um forte indicador da pressão humana sobre o meio, sendo mostrados pontos críticos do sistema natural como produto homem-meio.

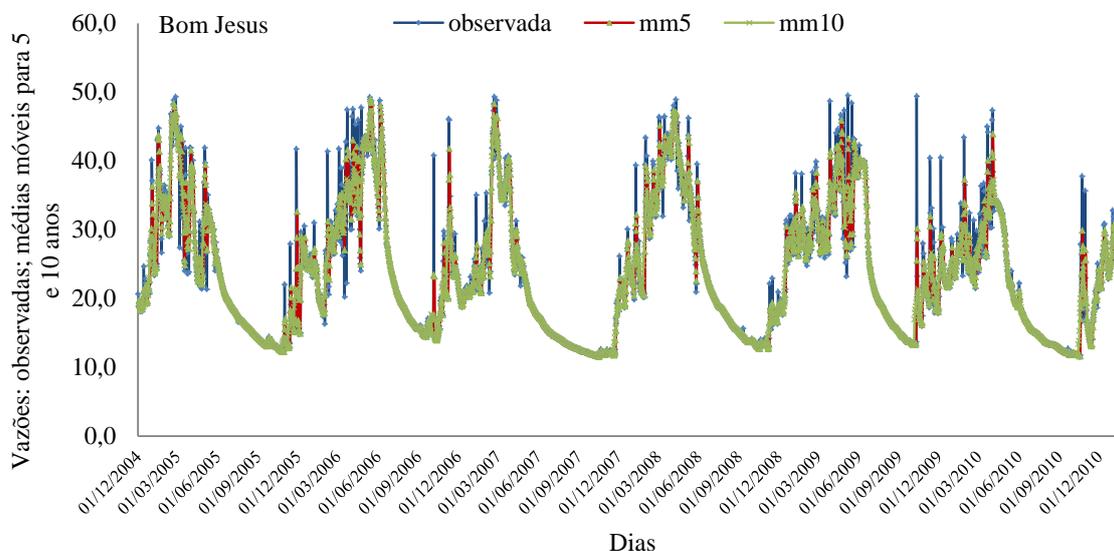
Figura 2. Vazões médias diárias observadas e estimadas pelo modelo IPH II suavizadas pelo método das médias móveis para 5 e 10 anos para o município de Bom Jesus. Na Figura 2 os valores calculados para a eficiência de cada um dos modelos, oscilam entre 6,2 e 6,8 mmh<sup>-1</sup> indicando moderada eficiência, principalmente na representação dos picos (valores extremos) observados. Ressaltar que o comportamento da vazão observada seguidamente das estimativas de vazões pela média móvel para 5 e 10 anos segue o ritmo das vazões observadas com pequenas defasagens nos



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTIMATIVA DE VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS UTILIZANDO O MODELO IPH II NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO URUÇUÍ PRETO – PI, BRASIL  
Raimundo Mainar de Medeiros, Manoel Vieira de França, Romildo Morant de Holanda, Luciano Marcelo Falle Saboya,  
Fernando Cartaxo Rolim Neto, Wagner Rodolfo de Araújo, João Carlos Montenegro Coutinho Junior

seus picos de máximos por sofrerem influência das chuvas locais ocorridas. Os resultados encontrados estão em conformidade com os valores registrados pela CHESF e os estudos de Souza et al. (2010).



**Figura 2.** Vazões médias diárias observadas e estimadas pelo modelo IPH II suavizadas pelo método das médias móveis para 5 e 10 anos para o município de Bom Jesus do Piauí.

**Fonte:** Medeiros, (2021)

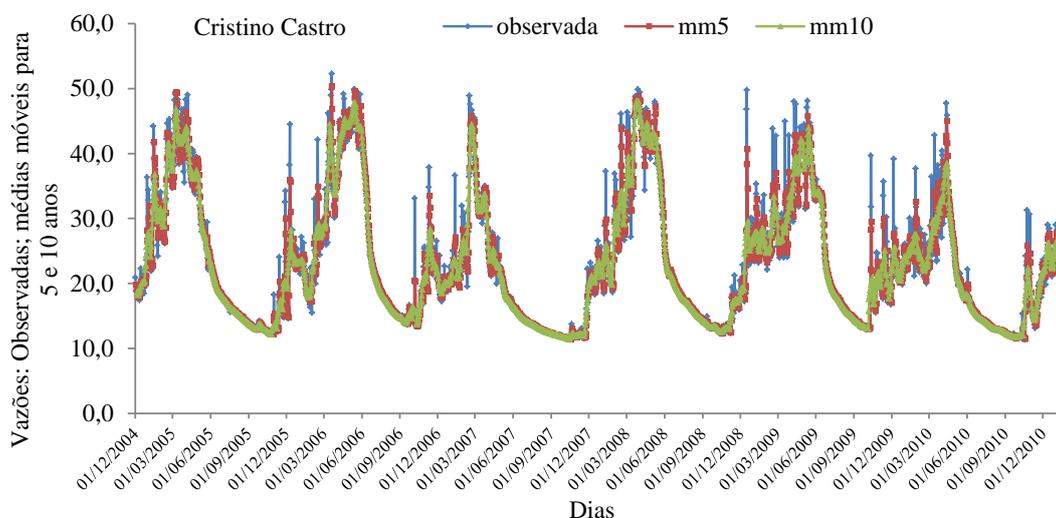
Na Figura 3 tem-se as vazões médias diárias observadas e estimadas pelo IPH II suavizadas pelo método das médias móveis para 5 e 10 anos para o município de Cristino Castro, localizado na área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto.

A Figura 3 em conformidade com a análise da Figura 2 segue os mesmos critérios, demonstrando que para o modelo das médias móveis estes valores podem ser utilizados em operações rotineiras diárias com relevâncias nas ocorrências dos picos de máximos e mínimos. Tais resultados estão em conformidades com os estudos de Tucci et al. (1998) e Stedinge et al. (1982).



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

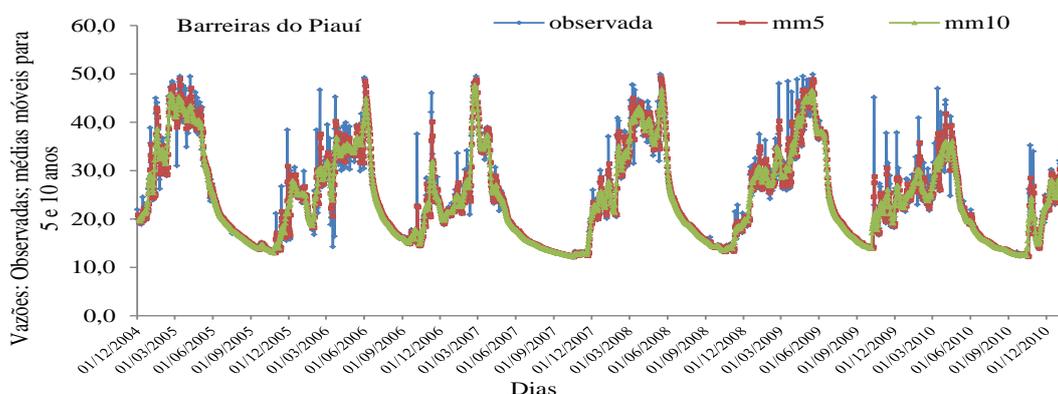
ESTIMATIVA DE VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS UTILIZANDO O MODELO IPH II NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO URUÇUI PRETO – PI, BRASIL  
Raimundo Mainar de Medeiros, Manoel Vieira de França, Romildo Morant de Holanda, Luciano Marcelo Falle Saboya,  
Fernando Cartaxo Rolim Neto, Wagner Rodolfo de Araújo, João Carlos Montenegro Coutinho Junior



**Figura 3.** Vazões médias diárias observadas estimadas pelo IPH II suavizadas pelo método das médias móveis para 5 e 10 anos para o município de Cristino Castro.

**Fonte:** Medeiros, (2021).

Na Figura 4 tem-se as variabilidades das vazões médias diárias observadas e estimadas pelo modelo IPH II suavizadas pelo método das médias móveis para 5 e 10 anos para o município de Barreiras do Piauí, localizado na área da BHRUP. Em Barreiras do Piauí nota-se que o comportamento da vazão observada seguidamente das estimativas de vazões pela média móvel para 5 e 10 anos, segue o ritmo das vazões observadas com pequenas defasagens nos seus picos de máximos e mínimos por sofrerem influenciam das chuvas locais ocorridas, para a média móvel de 5 anos estes valores têm maiores significâncias do que para os 10 anos. O Estudo de Galvânico vem a corroborar com os resultados aqui apresentados.



**Figura 4.** Vazões médias diárias observadas e estimadas pelo modelo IPH II suavizadas pelo método das médias móveis para 5 e 10 anos para o município de Barreiras do Piauí.

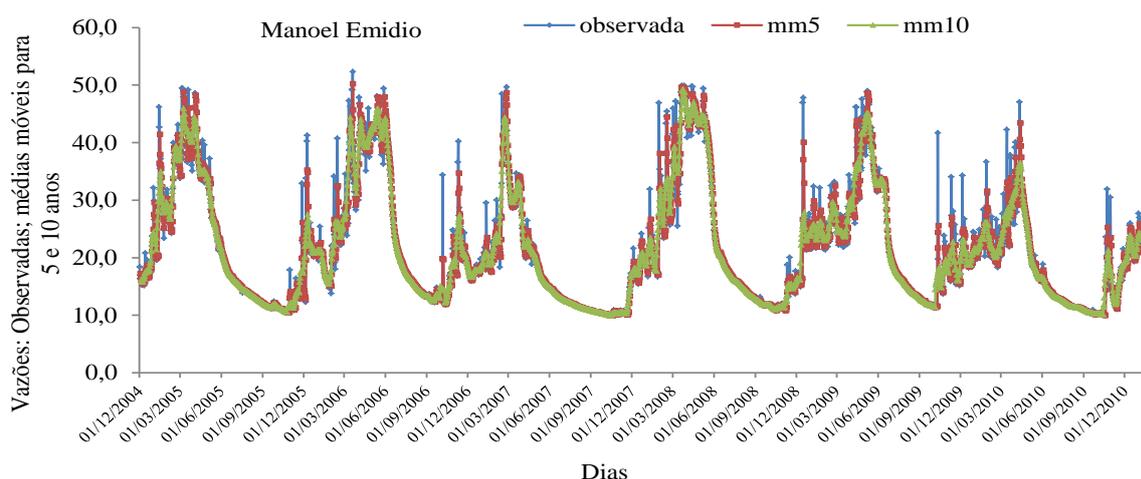
**Fonte:** Medeiros, (2021).



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTIMATIVA DE VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS UTILIZANDO O MODELO IPH II NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO URUÇUI PRETO – PI, BRASIL  
Raimundo Mainar de Medeiros, Manoel Vieira de França, Romildo Morant de Holanda, Luciano Marcelo Falle Saboya,  
Fernando Cartaxo Rolim Neto, Wagner Rodolfo de Araújo, João Carlos Montenegro Coutinho Junior

Na Figura 5 observa-se as oscilações das vazões médias diárias observadas e estimadas pelo modelo IPH II e suavizadas pelo método das médias móveis para 5 e 10 anos para o município de Manoel Emídio, localizado na área de estudo. No município de Manoel Emídio as simulações das médias móveis para os 5 e 10 anos seguem o ritmo das vazões observadas e que a estimativa da média móvel para os 5 anos tem maior significância de que para os 10 anos por sofrerem defasagem das chuvas locais ocorridas. Estas variabilidades de chuvas estão em conformidades com os estudos de Marengo et al. (2011) e com o de Souza et al. (2010).



**Figura 5.** Vazões médias diárias observadas estimadas pelo IPH II suavizadas pelo método das médias móveis para 5 e 10 anos para o município de Manoel Emídio.

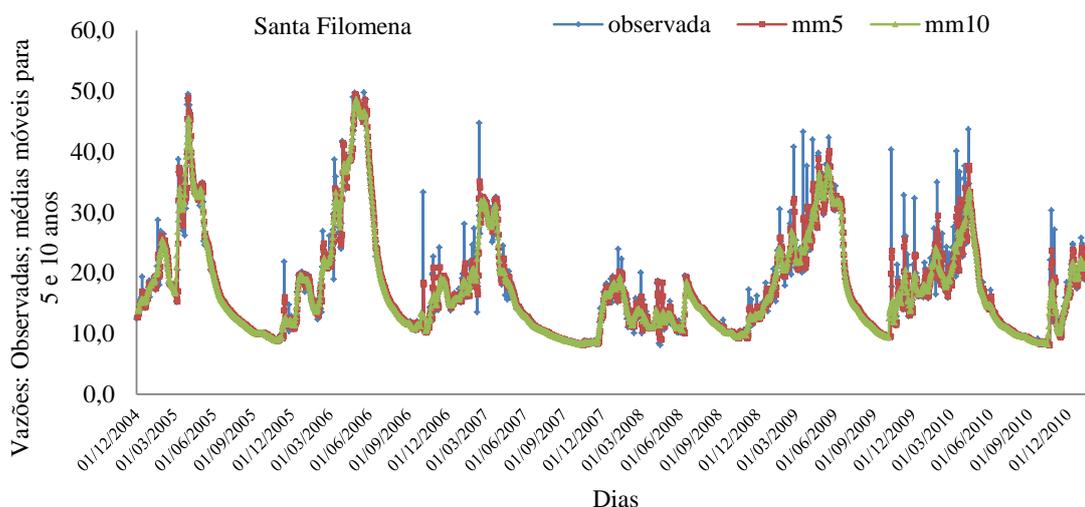
**Fonte:** Medeiros, (2021).

A Figura 6 Vazões médias diárias observadas estimadas pelo IPH II suavizadas pelo método das médias móveis para 5 e 10 para o município de Santa Filomena. Na Figura 6, em Santa Filomena observa-se que as variabilidades das vazões observadas e estimadas seguem o seu ritmo com pequenas defasagens para as médias móveis de 10 anos.



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTIMATIVA DE VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS UTILIZANDO O MODELO IPH II NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO URUÇUI PRETO – PI, BRASIL  
Raimundo Mainar de Medeiros, Manoel Vieira de França, Romildo Morant de Holanda, Luciano Marcelo Falle Saboya,  
Fernando Cartaxo Rolim Neto, Wagner Rodolfo de Araújo, João Carlos Montenegro Coutinho Junior



**Figura 6.** Vazões médias diárias observadas estimadas pelo IPH II suavizadas pelo método das médias móveis para 5 e 10 anos para o município de Manoel Emidio.

**Fonte:** Medeiros, (2021)

### CONCLUSÕES

A realidade da escassez de dados pluviográficos e de cota e vazões é uma questão distinta, sendo importante que as informações contidas nos poucos dados pluviográficos existentes sejam exploradas adequadamente com o objetivo, por exemplo, de servirem de entrada nos modelos que façam transformação chuva vazão. Considerando a escassez de dados de vazão observados em pequenas bacias hidrográficas e a necessidade eminente do conhecimento do valor de vazão de projeto, o melhor entendimento do processo de precipitação e a sua transformação em vazão é questão fundamental em projetos na área de Recursos Hídricos;

A simulação para alguns casos de picos máximos e mínimos apresentam eficiências muitos baixos onde se destaca o escoamento superficial máximo no escoamento direto, desta forma eventos isolados misturam maiores eficiências;

O uso e ocupação do solo desordenado, sem técnicas de manejo e as práticas não conservacionistas, o desmate, as queimadas, e a exploração do carvão, são os principais fatores causadores dos assoreamentos em toda a sua bacia estudada;

O uso e a ocupação do solo foram constatados que na BHRUP apresenta processo acelerado de urbanização, causando aumentos extremos nas áreas impermeáveis, desta forma gerando as maiores possibilidades de cheias, enchentes, alagamentos e inundações nos centros urbanos;

A perda de solo total na BHRUP foi fortemente influenciada pela cobertura vegetal do solo. Nos solos expostos a céu aberto, áreas de encostas, nas nascentes e nos topos dos morros as perdas são mais acentuadas;

Resultados relevantes na representação gráficos em estudos, mas com pequenas discrepâncias entre valores observados e os simulados na Bacia;



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTIMATIVA DE VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS UTILIZANDO O MODELO IPH II NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO URUCUÍ PRETO – PI, BRASIL  
Raimundo Mainar de Medeiros, Manoel Vieira de França, Romildo Morant de Holanda, Luciano Marcelo Falle Saboya,  
Fernando Cartaxo Rolim Neto, Wagner Rodolfo de Araújo, João Carlos Montenegro Coutinho Junior

O coeficiente de correlação entre vazões calculadas e vazões observadas é de 0,95. O erro quadrático médio é de 8,2% quando se considera o pico de vazão, quando se desconsidera este pico. O erro quadrático médio privilegia os picos de vazão, o que não foi feito durante o processo de calibração;

A situação em que a BHRUP estiver 100% ocupada com pastagem, produzira aumento na umidade de solo e esta situação aumentara na geração do deflúvio com provavelmente vazões de picos extremos e com possibilidade de cheias, enchentes, alagamentos e inundações mais severas e frequentes.

### REFERÊNCIAS

ARAGÃO, R. Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 3, p.243-252, 2013.

BEVEN, K. J.; MOORE, I. D. "Terrain Analysis and distributed modelling in hydrology - Advances in Hydrological Processes." **J. Wiley Ed.**, p. 249, 1994.

BOX, G. E.; JENKINS, G. M. **Time series analysis, forecasting and control**. San Francisco: Holdem-Day, 1970. p. 553.

BRAVO, J. M.; ALLASIA, D. G.; COLLISCHONN, W. TASSA, R.; MELLER, A.; TUCCI, C. E. M. Avaliação visual e numérica da calibração do modelo hidrológico IPH II com fins educacionais. *In.*: **Anais... XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007, São Paulo (SP)**. In CD-ROM. Porto Alegre (RS): Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2007.

BRUN, G. W.; TUCCI, C. M. M. Previsão em Tempo Real do Volume Afluente ao Reservatório de Ernestina. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 6, n. 2, p. 73-79, 2001.

BRUIJNZEEL, L. A. Hydrology of forest plantations in the tropics. *In.*: NAMBIAR, E. K. S.; BROWN, A. G. **Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests**. Australia: Australian Center for International Agricultural Research, 1997. Cap. 5, p.125-167.

CECÍLIO, R. A. Avaliação de interpoladores para os parâmetros das equações de chuvas intensas no Espírito Santo. **Revista Ambi-Água**, v. 4, n. 3, p. 82-92, 2009.

CHESF. **Companhia Hidroelétrica do São Francisco**. Teresina-PI: Gerencia Regional de Operação Oeste, 2000.

COE, M. T.; COSTA, M. H.; SOARES FILHO, B. S. The influence of historical and potential future deforestation on the stream flow of the Amazon River – Land surface processes and atmospheric feedbacks. **Journal of Hydrology**, v. 369, p. 65-174, 2009.

COSTA, M. H. Climate change in Amazonia caused by soybean cropland expansion, as compared to caused by pastureland expansion. **Geophysical Research Letters**, v. 34 p. 1-4, 2007.

COMDEPI. **Companhia de desenvolvimento do Piauí**: Estudo de viabilidade para aproveitamento hidroagrícola do vale do rio Uruçuí Preto. Teresina: COMDEPI, 2002.

COLLISCHONN, W.; ALASIA, D. G.; SILVA, B. C; TUCCI, E. M. The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modeling. **Hydrological Science Journal**, v. 52, n. 3, p. 878-885, 2007.



**RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR**  
**ISSN 2675-6218**

ESTIMATIVA DE VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS UTILIZANDO O MODELO IPH II NA BACIA

HIDROGRÁFICA DO RIO URUÇUÍ PRETO – PI, BRASIL

Raimundo Mainar de Medeiros, Manoel Vieira de França, Romildo Morant de Holanda, Luciano Marcelo Falle Saboya,  
 Fernando Cartaxo Rolim Neto, Wagner Rodolfo de Araújo, João Carlos Montenegro Coutinho Junior

D'ALMEIDA, C.; VÖRÖSMARTY, C. J.; MARENGO, J. A.; HURTT, G. C.; DINGMAN, S. L.; KEIM, B. D. A. Water Balance Model to Study the Hydrological Response to Different Scenarios of Deforestation in Amazonia. **Journal of Hydrology**, v. 331, p. 125-136, 2006.

EMATERPI. **Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Piauí**. Teresina, EMATERPI, 1991.

ESLAMIAN, S.; BIABANAKI, M. Low flow regionalization modeling. **International Journal of Ecological Economics & Statistics**, 2008. [http://findarticles.com/p/articles/mi\\_6925/is\\_12/ai\\_n28516608/](http://findarticles.com/p/articles/mi_6925/is_12/ai_n28516608/). Acesso em: mar. 2014.

FERREIRA, C. R. Variabilidade diária da precipitação em regiões de floresta e pastagem na Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 28, p. 395-408, 1998.

FILL, H. D. Informações hidrológicas. *In.*: **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos**. São Paulo: Nobel/ABRH, 1987. Cap. 2, p. 93-210.

GALVÍNCIO, J. D.; SOUSA, F. A. S.; SOUSA, I. F. Uso de modelos auto-regressivo e médias-móveis para geração de vazões médias mensais na bacia hidrográfica do alto São Francisco. *In.*: **Anais... XII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Foz de Iguaçu-PR, p.1852-1857, 2002.

GERMANO, A.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. Estimativas dos Parâmetros do Modelo IPH II para algumas Bacias Urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 4, p. 103-120, 1998.

GRIMM, A. M. Interannual climate variability in South America: Impacts on seasonal precipitation, extreme events, and possible effects of climate change. **Stoch Environ Reserch Risk Assess**, v. 25, p. 537–554, 2011.

GOMES, N. M. Variabilidade especial de atributos físicos - hídricos do solo d sub-bacia hidrográfica de Ribeiro Marcela na Região do alto Rio Grande. 2005. 124f. Dissertação (Mestrado) – UFLA, Lavras, 2005.

INMET. **Normais Climatológicas** (1961-1990). Brasília: Departamento Nacional de Meteorologia, 2009.

JUNQUEIRA, J. Escoamento de nascentes associado à variabilidade espacial de atributos físicos e uso do solo em uma bacia hidrográfica de Cabaceira no Rio Grande-MG. 2006. 84f. Dissertação (Mestrado) – UFLA, Lavras, 2006.

MAKSILIOVIC, C. General Overview of Urban Drainage Principles and Practice. Urban Drainage in specific climates (IPH-V-Technical Documents in Hydrology). **UNESCO**, Paris, v. 1, n. 40, p. 1-21, 2001.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; CHOU, S. C; TOMASELLA; J.; SAMPAIO, G.; ALVES L. M.; OBREGON, G. O.; SOARES, W. R.; BETTS. R.; GILLIN, K. **Riscos das Mudanças Climáticas no Brasil Análise conjunta Brasil-Reino Unidos sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia**. Brasília: INPE, 2011. 56 p.

MEDEIROS, R. M.; BORGES, C. K.; GOMES FILHO, M. F. Estudo da direção predominante do vento sobre a bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto–PI. *In.*: **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC 2014**. Centro de Convenções Atlantic City - Teresina - PI 12 a 15 de agosto de 2014.

MEDEIROS, R. M. **Estudo Agrometeorológico para o Estado do Piauí**. Teresina: Divulgação Avulsa, 2013. p. 119.

MEDEIROS, R. M.; SILVA, V. P. R.; GOMES FILHO, M. F. Análise hidroclimática da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – Piauí. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 5, n. 4, p. 151-163, dez. 2013.



**RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR**  
**ISSN 2675-6218**

ESTIMATIVA DE VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS UTILIZANDO O MODELO IPH II NA BACIA  
 HIDROGRÁFICA DO RIO URUÇUI PRETO – PI, BRASIL  
 Raimundo Mainar de Medeiros, Manoel Vieira de França, Romildo Morant de Holanda, Luciano Marcelo Falle Saboya,  
 Fernando Cartaxo Rolim Neto, Wagner Rodolfo de Araújo, João Carlos Montenegro Coutinho Junior

MEDEIROS, R. M.; SANTOS, D. C.; SOUSA, F. A. S.; GOMES FILHO, M. F. Análise climatológica, classificação climática e variabilidade do balanço hídrico climatológico na bacia do rio Uruçui Preto, PI. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 06, n. 04, p. 652-664, 2013.

MEDEIROS, R. M.; SOUSA, F. A. S.; GOMES FILHO, M. F. Variabilidade da umidade relativa do ar e da temperatura máxima na bacia hidrográfica do rio Uruçui Preto. **Revista Educação Agrícola Superior**, v. 28, n. 1, p. xx-xx, 2013. ISSN 0101-756X. DOI: <http://dx.doi.org/10.12722/0101-756X.v28n01axx>.

MALEKINEZHAD, H.; NACHTNEBEL, H. P.; KLIK, A. Comparing the index flood and multiple regression methods using L-moments. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 36, p. 54-60, 2011.

MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; NORTON, L. D.; SILVA, A. M.; WEIMAR, F. A. Development and application of a simple hydrologic model simulation for a Brazilian headwater basin. **Catena**, v. 75, p. 235-247, 2008.

MIN, S.; ZHANG, X.; ZWIERS, F. W.; HEGER, G. C. Human contribution to more-intense precipitation extremes. **Nature. Letter**, v. 470, p. 378, 2011.

O'LOUGHLIN, E. M.; VERTESSY, R. A.; DAWES, W. R.; SHORT, D. L. The use of predictive hydrologic modelling for managing forest ecosystems subject to disturbance. *In.*: **IUFRO WORLD CONGRESS, 19**. Montreal, 1990. Montreal: IUFRO, v. B, p. 252-266, 1990.

PAULA, R. K.; BRITO, J. I. B.; BRAGA, C. C. Utilização da análise de componentes principais para verificação da variabilidade de chuvas em Pernambuco. *In.*: **Anais... XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Belém do Pará, PA. CDRom. 2010.

RAO, A. R.; SRINIVAS, V. V. Regionalization of watersheds by fuzzy cluster analysis. **Journal of Hydrology**, v. 318, p. 57-79, 2006.

RODRIGUES, J. O. Equações de intensidade duração frequência de chuvas para as localidades de Fortaleza e Pentecoste, Ceará. **Revista Scientia Agraria**, v. 9, n. 4, p. 511-519, 2008.

SAMUEL, J.; COULIBALY, P.; METCALFE, R. A. Estimation of continuous streamflow in Ontario ungauged basins: Comparison of regionalization methods. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 16, p. 447, 2011.

SAMPAIO, G. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. **Geophysical Research Letters**, v. 34, p. 1-7, 2007.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. Diretrizes para o manejo sustentável dos solos brasileiros: região semiárida. *In.*: **Anais... Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 26, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. CDRom. 1997.

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 115-123, 2010.

SILVA, V. M. A.; MEDEIROS, R. M.; GOMES FILHO, M. F. Variabilidade pluviométrica entre regimes diferenciados de precipitação no Estado do Piauí. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife-PE, p. 1463-1475, 2013.

SOUZA, L. R.; CUNHA, A. C.; BRITO, D. C. Aplicação do sistema hidrológico IPHS1 no estudo de chuva-vazão em aproveitamentos hidrelétricos na bacia hidrográfica no alto e médio Araguari. *In.*: CUNHA, A. C.; SOUZA, E. B. E.; CUNHA, H. F. A. (Org.). **Tempo, Clima e Recursos Hídricos: Resultados do Projeto REMETAP no Estado do Amapá**. Macapá: IEPA, 2010. p. 216.

SUDENE. **Dados pluviométricos mensais do Nordeste: Estado do Piauí**. Recife: SUDENE, 1990.



**RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR**  
**ISSN 2675-6218**

ESTIMATIVA DE VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS UTILIZANDO O MODELO IPH II NA BACIA  
 HIDROGRÁFICA DO RIO URUÇUI PRETO – PI, BRASIL  
 Raimundo Mainar de Medeiros, Manoel Vieira de França, Romildo Morant de Holanda, Luciano Marcelo Falle Saboya,  
 Fernando Cartaxo Rolim Neto, Wagner Rodolfo de Araújo, João Carlos Montenegro Coutinho Junior

STEDINGER, J. R.; TAYLOR, M. R. Synthetic Streamflow Generation. 1. Model Verification and Validation, **Water Resources Research**, p. 909-918, 1982.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: UFRGS, 2005. p.678.

TUCCI, C. E. M.; ZAMANILLO, E.; PASINATO, H. **Sistema de simulação precipitação-vazão iphs1**. Recursos Hídricos, Porto Alegre, n. 20, 1998.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. São Paulo: Editora da ABRH, 1998. p. 669.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 1993. p. 943.

TUCCI, C. E. M. Análise de Sensibilidade dos Parâmetros do Algoritmo de Infiltração. *In.*: **III simpósio brasileiro de recursos hídricos**, 1979, Brasília. III simpósio brasileiro de recursos hídricos. São Paulo: ABRH, 1979. v. 2. p. 553-570.

VEITH, T. L.; LIEW, M. W. V.; BOSCH, D. D; ARNOLD, J. G. Parametr sensitivity and uncertainty in SWAT: A comparison across five USDA-ARS water sheds. **Transactions of the asabe**, v. 53, p. 1477-1486, 2010.

VIANA, F. L. **Comportamento Hidrológico das Pequenas Bacias do Nordeste**. 1986. 136f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1986.

VIEGAS, J. S. F.; TUCCI, C. E. M.; VILLANUEVA, A.; ALLASIA, D. G.; TASSI, R.; DAMÉ, R. C. F. **Manual do Usuário versão Beta 2.11**. Porto Alegre: IPH-UFRGS e ALM/FEA /IMF - UFPel, 2004. p. 46.