

## *Uso da modelagem hidrológica para calibração de curva-chave de vazão em Rio Amazônico com efeito de remanso*

O presente trabalho apresenta um método simplificado para calibração de curva de descarga, desconsiderando a correção da vazão pela declividade da linha de água e o método do desnível normal. A aplicação deste modelo estatístico, com base na análise de regressão linear à calibração de curva-chave em estação fluviométrica instável, sob efeito de remanso, foi aplicada na Sub-Bacia do rio Tapajós no Posto Fluviométrico de Itaituba, inclusa na Região Hidrográfica Amazônica. Os dados de medições de descargas realizadas em Itaituba e dos níveis fluviométricos do posto de Santarém na confluência dos rios Amazonas/Tapajós, foram obtidos do Banco de dados da Agência Nacional de Águas para a calibração e validação deste modelo proposto. Os índices para avaliar a eficiência do ajustamento da equação calibrada encontrados foram o coeficiente de correlação múltipla ( $R = 0,9454$ ), coeficiente de Nesh-Sutcliffe ( $CNS = 0,8938$ ) e do coeficiente de desvio ( $D = 4,86\%$ ). A equação desenvolvida do modelo para calibração da curva chave com efeito de remanso indicou muito bom ajuste conforme estatística de avaliação de desempenho, apresentada. Estes resultados evidenciam a aplicabilidade do modelo em postos fluviométricos que apresentarem curva-chave instável.

**Palavras-chave:** Hidrologia; Itaituba/PA; Santarém/PA; Rio Tapajós; Rio Amazonas.

## *Use of the hydrological modeling for calibrating the flow key curve in Amazon River with backwater effect*

The present work presents a simplified method for discharge curve calibration, disregarding the flow correction by the waterline slope and the normal slope method. The application of this statistical model, based on linear regression analysis for key curve calibration in unstable fluviometric station, under backwater effect, was applied in the Tapajós River Sub-Basin at Itaituba River Post, included in the Amazon Hydrographic Region. Data from discharge measurements performed in Itaituba and fluviometric levels of the Santarém Post at the confluence of the Amazon/Tapajós rivers were obtained from the National Water Agency Database for the calibration and validation of this proposed model. The indices for evaluating the efficiency of adjustment of the calibrated equation found were the multiple correlation coefficient ( $R = 0.9454$ ), Nesh-Sutcliffe coefficient ( $CNS = 0.8938$ ) and the deviation coefficient ( $D = 4.86\%$ ). The developed equation of the model for calibration of the backwater key curve indicated very good fit according to the performance evaluation statistics presented. These results show the applicability of the model in fluviometric stations with unstable key curve.

**Keywords:** Hydrology; Itaituba/PA; Santarém/PA; Tapajós River; Amazonas River.

Topic: Engenharia de Recursos Hídricos

Received: 05/08/2020

Approved: 26/09/2020

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Pedro Alberto Moura Rolim 

Universidade Federal do Pará, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/8429318923503179>

<http://orcid.org/0000-0002-0863-8557>

[pedro.rolim@sipam.gov.br](mailto:pedro.rolim@sipam.gov.br)

Joaquim Carlos Barbosa Queiroz 

Universidade Federal do Pará, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/4383935463464893>

<http://orcid.org/0000-0002-4459-6956>

[joaquim@ufpa.br](mailto:joaquim@ufpa.br)


Edmir dos Santos Jesus 

Universidade do Estado do Pará, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/5028749958173022>

<http://orcid.org/0000-0002-4383-5353>

[edmir.jesus@gmail.com](mailto:edmir.jesus@gmail.com)

Leidiane Leão de Oliveira 

Universidade Federal do Oeste do Pará, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/5016148560650320>

<http://orcid.org/0000-0002-5995-9107>

[leidianeoli@gmail.com](mailto:leidianeoli@gmail.com)



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2020.005.0026

### Referencing this:

ROLIM, P. A. M.; QUEIROZ, J. C. B.; JESUS, E. S.; OLIVEIRA, L. L.. Uso da modelagem hidrológica para calibração de curva-chave de vazão em Rio Amazônico com efeito de remanso. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.11, n.5, p.273-283, 2020. DOI:

<http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.005.0026>

## INTRODUÇÃO

Os grandes desafios enfrentados nas últimas décadas em hidrologia é observar, monitorar, simular e prognosticar os fenômenos naturais (enchente e estiagem severas) para alerta dos órgãos competentes no sentido de minimização dos efeitos de tais desastres a população. Por que modelos de simulação hidrológica? A hidrologia trata dos fenômenos naturais complexos encontrado no ciclo hidrológico. Os processos, como a precipitação, evaporação, infiltração e o escoamento em cursos d'água, dependem de muitos fatores, que dificulta a análise quantitativa e qualitativa dos mesmos.

O modelo é a representação de algum objeto ou sistema, numa linguagem ou forma de fácil acesso e uso, com o objetivo de entendê-lo e buscar suas respostas para diferentes entradas (TUCCI, 2005). O modelo hidrológico é uma das ferramentas que a ciência desenvolveu, para melhor entender e simular o comportamento da bacia hidrográfica e prognosticar condições diferentes das observações. A simulação hidrológica é limitada pela heterogeneidade física da bacia e dos processos envolvidos, o que tem propiciado o desenvolvimento de muitos modelos que se diferenciam em função dos dados utilizados, discretização, das propriedades de representação dos processos e dos objetivos a serem alcançados.

As primeiras medições fluviométricas realizadas na região amazônica, são a partir da metade do século XIX, tentam compreender os processos hidrológico da bacia, e a partir da primeira metade do século XX, têm-se realizados estudos hidrológicos e hidro-energéticos nas bacias da região Amazônica para se tentar compreender, quantitativa e qualitativamente os processos envolvidos no ciclo hidrológico e o potencial energético hidráulico da bacia. Estudos Integrados do vale do Tapajós (Sondotécnica) como dos inventários hidroelétricos das bacias do rio Tocantins/Araguaia (Themag/Engevix), Xingu, Madeira, entre outros.

Jaccon (1989) demonstra a calibração de postos não-unívocas, os quais apresentam técnicas para calibração de curva-chave de postos fluviométricos com instabilidade geométrica e instabilidade hidráulica. A análise da geometria hidráulica de uma seção transversal (ou geometria de seção) mostra-se que com o aumento da vazão na seção ocorre um acréscimo de mesma taxa na profundidade e na velocidade do fluxo. Ao mesmo tempo, o aumento da vazão provoca um leve acréscimo na largura da seção, uma pequena redução da rugosidade hidráulica e uma alteração na declividade superficial da água. Porém, a maior alteração que ocorre com o acréscimo da vazão é na carga de sedimentos em suspensão que aumenta rapidamente e em maior volume que qualquer outra variável. Para a geometria de seção as variações ocorrem devido as configurações de um determinado local do canal do rio e devido ao modo em que fluxo d'água atravessa a seção (LEOPOLD et al., 1953; GORDON et al., 1992).

Deste modo, os impactos originados pela variabilidade dos regime hidrológico, tanto da rio Amazonas quanto do rio Tapajós, faz-se dessa pesquisa se junte a outras com o intuito de melhorar e aprofundar o conhecimento científico e entendimento dos processos hidrológicos da bacia hidrográfica do rio Tapajós, além de desenvolver os modelos estatísticos de simulação e prognóstico com maior antecedência, apresenta precisão significativa para auxiliar as ações das instituições de Defesa Civil, no planejamento de ações preventivas de socorro, assistenciais e reconstrutiva destinadas a evitar ou minimizar

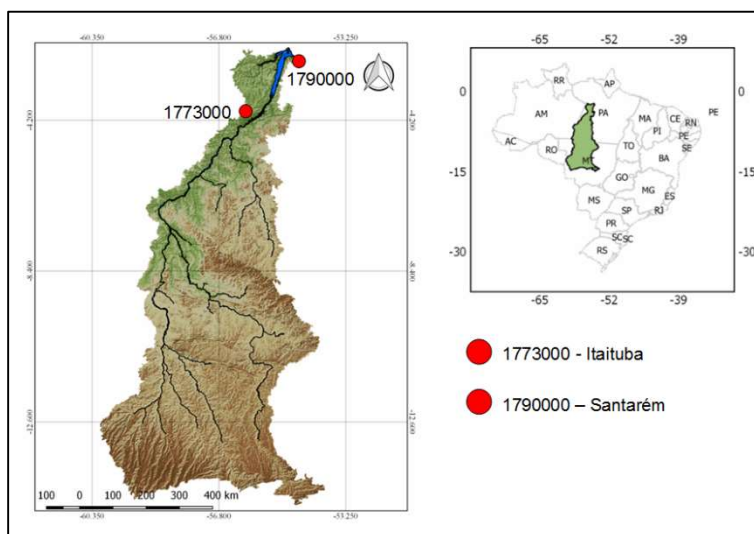
os desastres naturais, preservar o moral da população e restabelecer a normalidade social nas cidades e localizações impactada por esses desastres. Este estudo teve como objetivo desenvolver um modelo estatístico para simulação e prognóstico de nível e vazão para Itaituba/PA, na bacia do rio Tapajós.

## METODOLOGIA

Os estudos referentes aos recursos hídricos dependem diretamente das medidas e observações coletadas em campo. Toda e qualquer modelagem de simulação e prognóstico a ser definida para o desenvolvimento de pesquisa de uma determinada bacia depende diretamente da coleta dos dados hidrológicos em campo de forma contínua e precisa. Sem os dados básicos e extremamente imprecisos é arriscado definir qualquer metodologia de modelagem matemática que represente as características do regime hídrico da região.

## Área de Estudo

A área de estudo (Figura 1) é uma região com baixa densidade de postos fluviométricos de monitoramento hidrológico, isto se deve as localizações e condições de acesso, devido as distâncias dos centros urbanos. Os postos fluviométricos correspondem aos municípios de Itaituba e Santarém às margens do Rio Tapajós.



**Figura 1:** Localização dos Postos Fluviométricos de Itaituba/PA e Santarém/PA na Bacia do rio Tapajós.

A Gestão da rede fluviométrica brasileira é realizada por órgãos setoriais federais, estaduais e particulares, que transmitem os dados coletados (consolidados e consistidos) a Agência Nacional de Águas (ANA), que assegura que estes dados sejam efetivamente armazenados, processados, interpretados e difundidos entres os usuários interessados. A ANA armazena os dados do monitoramento através do sistema HIDRO desenvolvido a tal finalidade para qualquer usuário interessado em acessar o sistema<sup>1</sup>.

Para esta pesquisa foram utilizados os dados fluviométricos de níveis médios diários e o resumo de medição de descargas referentes ao posto de Itaituba (17730000) no rio Tapajós e os dados fluviométrico

<sup>1</sup> <http://www.snirh.gov.br/porta/snirh/snirh-1/sistemas>

médios diários do posto de Santarém (17900000) na foz do rio Tapajós/Amazonas, conforme demonstra a localização geográfica vista na Figura 1; ambos do período de abril de 1971 a dezembro de 2018, obtidos do Banco de dados Hidrometeorológicos da Agência Nacional de Água que constitui a base do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

As análises de consistência da série de resumo de medição de descargas foram efetuadas através da representação gráfica e análise da dispersão dos pontos. As relações consideradas foram: Níveis x Vazão, Níveis x Área, Níveis x Velocidade, Níveis x Largura e Níveis x Profundidade. Em caso de postos fluviométricos em que a curva seja em laço, utilizou-se um posto fluviométrico de montante. Para aplicação do método, os dados de cada medição de descarga do posto Itaituba foram referenciados e analisados com auxílio dos dados do posto secundário de jusante Santarém.

### Descrição do Modelo de Regressão, Correlação e Avaliação

A regressão linear é um dos métodos para se estimar a condicional (valor esperado) de uma variável  $y$ , dados os valores de algumas outras variáveis  $x$ . A regressão, em geral, trata da questão de se estimar um valor condicional esperado. Em muitas situações, uma relação linear pode ser válida para sumarizar a associação entre as variáveis  $Y$  e  $X$ . Assim podemos apresentar um modelo de regressão linear simples (1), tal como Figura 2.

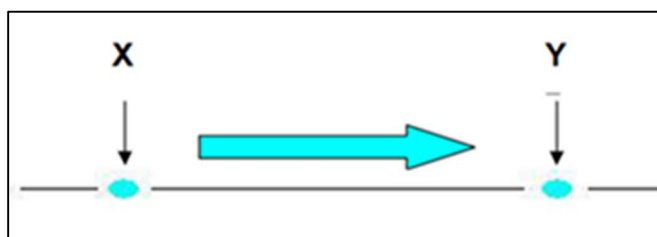


Figura 2: Esquema de um Modelo de Regressão.

$$H_B(t) = a_0 + a_1.H_A(t - \Delta t) + \varepsilon \quad (1)$$

De acordo com a Equação 1, os parâmetros  $a_0, a_1, \dots, a_n$ , podem ser estimados pelo método de mínimos quadrados,  $H_B(t)$  é a variável resposta (variável dependente),  $H_A$  a variável de entrada (variável independente ou explicativa),  $t$  é o tempo e  $\varepsilon$  são erros aleatórios provenientes de ruídos ou variáveis não consideradas na correlação.

O ajuste pelo método dos mínimos quadrados minimiza os desvios entre a variável dependente e as variáveis explicativas. Pode-se utilizar o método de regressão linear múltipla em que se considera um posto qualquer como variável dependente e outros à montante como variáveis independentes, para os pontos  $\{(x_i, y_i, z_i), i = 1, 2, \dots, n\}$ , podemos aplicar segundo a Equação 2.

$$z_i = a + bx_i + cy_i \quad (2)$$

Onde:  $z$  é a variável dependente  $x$  e  $y$  são os outros postos a montante (independentes).

Pelo método dos mínimos quadrados, os coeficientes de regressão  $a, b$  e  $c$  podem ser encontrados resolvendo as Equações de 3 a 8.

$$\left. \begin{aligned} \sum z_i &= a_n + b \sum z_i + c \sum y_i \\ \sum x_i z_i &= a \sum x_i + b \sum x_i^2 + c \sum x_i y_i \\ \sum y_i z_i &= a \sum y_i + b \sum x_i y_i + c \sum y_i^2 \end{aligned} \right\} i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$c = \frac{A - B}{\left[ n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2 \right] \left[ n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2 \right] - \left[ n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i) \right]^2} \quad (4)$$

Onde:

$$A = \left[ n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2 \right] \left[ n \sum y_i z_i - (\sum y_i)(\sum z_i) \right] \quad (5)$$

$$B = \left[ n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i) \right] \left[ n \sum x_i z_i - (\sum x_i)(\sum z_i) \right] \quad (6)$$

$$b = \frac{\left[ n \sum x_i z_i - (\sum x_i)(\sum z_i) \right] - c \left[ n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i) \right]}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (7)$$

$$a = \frac{1}{n} \left[ (\sum z_i) - (c \sum y_i) - (b \sum x_i) \right] \quad (8)$$

Onde:  $R^2$  é o coeficiente de determinação ou variância como é mais conhecido, calculado através da Equação 9, o qual compara valores de  $z$  estimados e reais e seu valor varia entre 0 e 1. Se for igual a 1, existirá uma correlação perfeita na amostra – não haverá diferença entre os valores de  $z$  estimados e os valores reais;  $r$ , coeficiente de correlação, é a raiz quadrada da variância.

$$R^2 = \frac{a \sum z_i + b \sum x_i z_i + c \sum y_i z_i - \frac{1}{n} (\sum z_i)^2}{(\sum z_i^2) - \frac{(\sum z_i)^2}{n}} \quad (9)$$

Os cálculos dos coeficientes de regressão linear foram feitos utilizando da planilha eletrônica do MS-Office Excel com a função Análise de Dados - Regressão ou função PROJ.LIN, que calcula além dos coeficientes de regressão o de determinação.

### Avaliação do modelo

Para avaliar a performance do modelo de simulação, conforme descrito por Viola et al. (2012), foram aplicados os seguintes testes estatísticos: coeficiente de Nash-Sutecliffe ( $C_{NS}$ ); coeficiente de determinação ( $R^2$ ); e desvio entre níveis e vazões observadas e simuladas ( $D$ ). Na sequência são apresentadas suas formulações, em que  $H_{obs}$  e  $Q_{obs}$ , e  $H_{cal}$  e  $Q_{cal}$  referem-se aos níveis e vazões observados(as) e simulados(as) e calculados respectivamente em m (metros) e  $m^3/s$  (metros cúbicos por segundo).

Segundo Legates et al. (1999), o valor de  $R^2$  é um indicador da correlação entre os valores observados e simulados, segundo a Equação 10, com amplitude de variação entre 0 e 1, em que o valor 1 indica um ajuste perfeito. Esse  $R^2$  é considerado uma das estatísticas mais sensível a valores extremos. Moriasi et al. (2007) considera valores de  $R^2$  acima de 0,5 como aceitáveis.

$$R^2 = \left\{ \frac{\sum_i^n (Q_{obs_i} - \overline{Q_{obs}})(Q_{cal_i} - \overline{Q_{cal}})}{\left[ \sum_{i=1}^n (Q_{obs_i} - \overline{Q_{obs}})^2 \right]^{0,5} \cdot \left[ \sum_{i=1}^n (Q_{cal_i} - \overline{Q_{cal}})^2 \right]^{0,5}} \right\} \quad (10)$$

De acordo com a Equação 11, o coeficiente de Nash-Sutcliffe ( $C_{NS}$ ) descrita por Zhang et al. (2007), indica o ajustamento dos dados simulados, podendo variar de  $-\infty$  a 1. O  $C_{NS}$  está associado à eficiência de estimativa de níveis e vazões de pico do fluviograma. Moriasi et al. (2007) apresentaram a seguinte classificação para este coeficiente ( $C_{NS}$ ), utilizando intervalo diário de simulação (Tabela 1). Segundo Zaapa (2002), valores de  $C_{NS}$  acima de 0,5 qualificam o modelo para simulação.

$$C_{NS} = 1 - \frac{\sum (Q_{obs} - Q_{cal})^2}{\sum (Q_{obs} - \overline{Q_{obs}})^2} \quad (11)$$

**Tabela 1:** Índice de eficiência de Nesh-Sutcliffe.

| Índice de Eficiência   | Classificação |
|------------------------|---------------|
| $C_{NS} > 0,65$        | Muito Bom     |
| $0,54 < C_{NS} > 0,65$ | Bom           |
| $0,50 < C_{NS} > 0,54$ | Satisfatório  |

De acordo com a Equação 12 extrai-se a tendência média das estimativas produzidas pelo modelo que quando positivo expressa tendência de superestimativa e negativo de subestimativa.

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{Q_{cal_i} - Q_{obs_i}}{Q_{obs_i}} \right)}{n} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (12)$$

Onde:  $Q_{obs}$  é o nível ou a vazão observada;  $Q_{cal}$  é o nível ou a vazão calculada;  $\overline{Q_{obs}}$  é o nível ou a vazão média observada;  $\overline{Q_{cal}}$  é o nível ou a vazão média calculada;  $n$  é o número de dados.

Após os cálculos, Van Liew et al. (2003) apresentaram os seguintes intervalos e respectivas interpretações do índice de tendência D% (Tabela 2):

**Tabela 2:** Índice de Tendência e suas respectivas classificações segundo Van Liew et al. (2003).

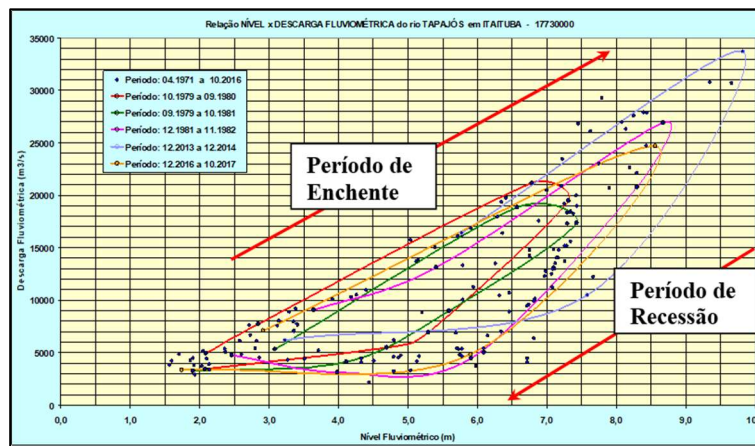
| Índice de Tendência | Classificação          |
|---------------------|------------------------|
| $D < 10\%$          | Muito Bom              |
| $10\% < D > 15\%$   | Bom                    |
| $15\% < D > 25\%$   | Satisfatório           |
| $D > 25\%$          | Inadequado a Tendência |

A seguir apresentaremos a aplicação do Cálculo da Correlação Linear Múltipla e Análise de Regressão ao cálculo da Equação da Curva de Descargas (Curva Chave – Laço).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

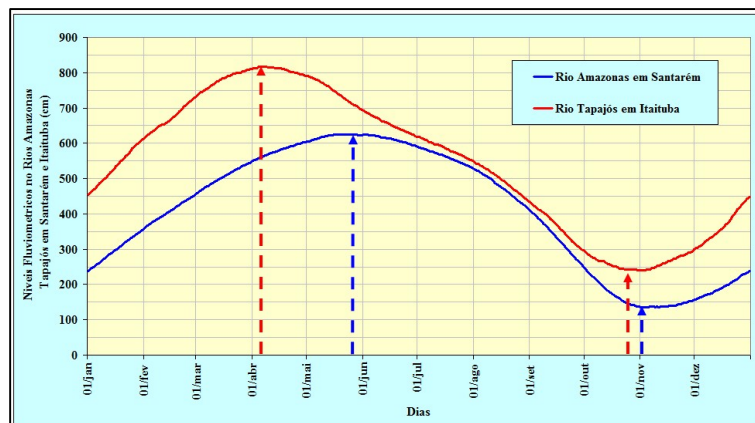
Mostramos a relação descarga versus níveis fluviométricos, observa-se os períodos de enchentes e recessão do rio, para uma cota de enchente de 6,0 metros e uma cota de recessão (6,00 m) há descarga de 17.000 m<sup>3</sup>/s e 3.800 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, isto sugere um remanso por barramento do rio Amazonas sobre o rio Tapajós provocando um prisma de armazenamento no rio Tapajós da foz até Itaituba (Figura 3). Essa

descarga fluviométrica do rio Tapajós é determinada pela combinação do prisma de armazenamento durante o avanço da onda de cheia do rio Amazonas.



**Figura 3:** Análise da Descarga versus Níveis Fluviométricos. Período analisado de dados: abr/1971 a out/2017 em Itaituba/PA.

Apresentamos a variação de nível visto como pico da cheia do rio Tapajós (800 cm) em Itaituba se dá em média nos meses de março ou abril e a do rio Amazonas (620 cm) em Santarém no mês de maio ou junho. Os níveis mais baixos se dão nos meses de outubro (250 cm) e novembro (110 cm), respectivamente (Figura 4).

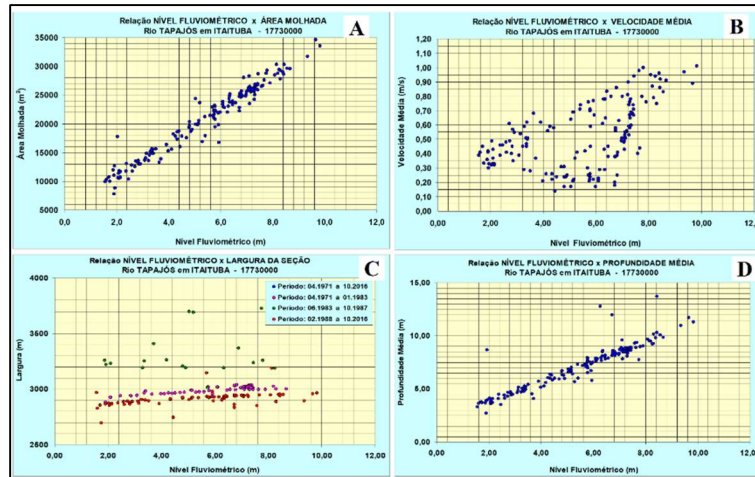


**Figura 4:** Variação média do nível dos rios Amazonas em Santarém/PA e Tapajós em Itaituba/PA, com destaque para os períodos de cheia e seca dos rios.

Outros estudos identificaram períodos bem definidos de águas altas e baixas para o rio Tapajós e rios amazônicos (VALE et al., 2016; BENTES et al., 2018; ISAAC et al., 1995; ISAAC et al., 1996). Oliveira et al. (2020) definiram o período hidrológico do rio Tapajós em Santarém/PA: cheia (abril a junho), vazante (julho a setembro), seca (outubro a dezembro), enchente (janeiro a março) observados também por Santos et al. (2015).

As variáveis estudadas apresentam sazonalidade bem definida. O nível do Rio Tapajós apresenta período de máximos entre os meses de abril a junho (OLIVEIRA et al., 2020). O mês de maio é o que apresenta maior flutuação (variabilidade) do período de cheia na região. Já o mês de nível mais baixo é novembro. De acordo com Vale et al. (2016) o pico de cheia sempre se dá no mês de maio e o pico de seca no mês de novembro no rio Tapajós em Santarém/PA.

Observa-se na relação nível versus área molhada (A) e nível profundidade média (D) alguns pontos inconsistentes; na relação nível versus largura (C), que pelo menos três vezes houve mudança de secção de medição de descarga, o que por si somente ocasionam alguns erros na calibração da curva chave, entretanto na relação nível versus velocidade média a nuvem de pontos dispersa, identificando para um mesmo nível na enchente e na recessão velocidades média (B) (0,15 a 0,80) variando aproximadamente 300%, para um mesmo nível de 6 metros (Figura 05).



**Figura 5:** Relação Níveis Fluviométricos versus Área Molhada (A), Velocidade Média (B), Largura da Secção (C) e Profundidade Média (D) para o Rio Tapajós em Itaituba/PA.

A estatística de regressão linear para calibração da curva chave, indicam a existência de uma excelente correlação ( $R=0,9454$ ) apresenta também resultado da estatística de regressão e ANOVA, observando de uma forma geral os valores p são extremamente significante ( $p < 0,0001$ ) (Tabela 3).

**Tabela 3:** Estatística de regressão linear e ANOVA para calibração da curva chave e os valores dos seus coeficientes para Rio Tapajós em Itaituba-PA ( $X_1 - H_{Ita}$ ) e o Rio Amazonas em Santarém-PA  $X_2 - H_{Stm}$ .

|                 | Coefficiente linear | Erro padrão | Stat t | valor p     | 95% inferiores | 95% superiores |
|-----------------|---------------------|-------------|--------|-------------|----------------|----------------|
| Intersecção     | -2603,43            | 597,79      | -4,35  | 2,46159E-05 | -3784,67       | -1422,19       |
| $X_1 - H_{Ita}$ | 63,79               | 1,97        | 32,31  | 3,34714E-69 | 59,89          | 67,69          |
| $X_2 - H_{Stm}$ | -40,88              | 1,99        | -20,52 | 2,82044E-45 | -44,82         | -36,94         |

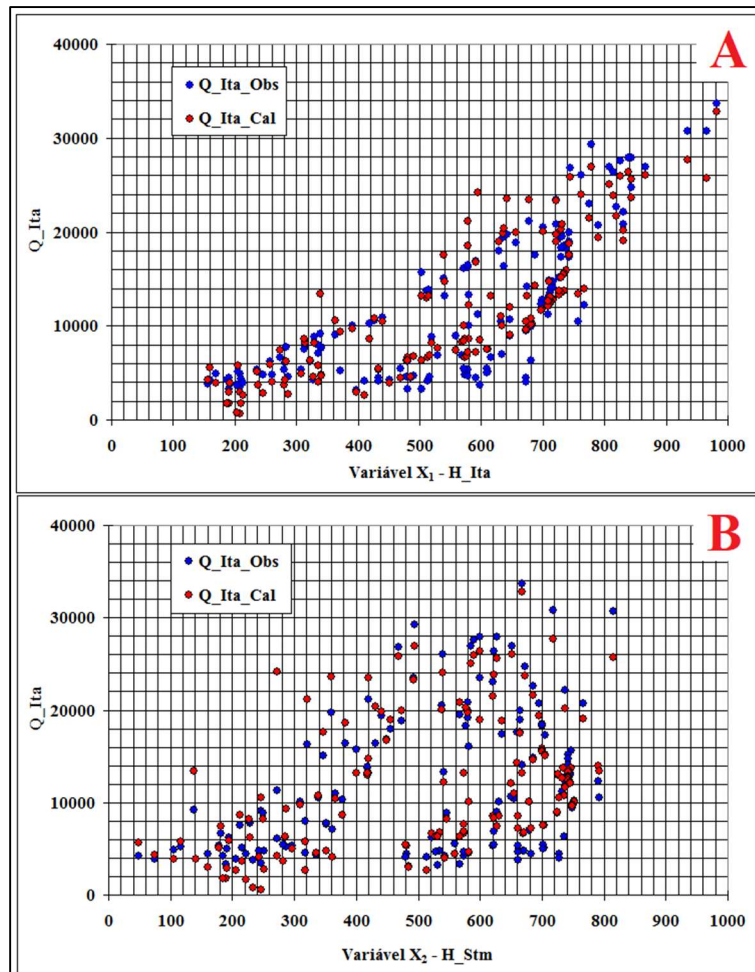
Após efetuação das estimativas segundo os dados observacionais chegou-se à Equação 13 que representará a curva-chave com efeito de remanso para cálculo da estatística de descarga do posto fluviométrico de Itaituba no rio Tapajós:

$$Q_{Ita} = 63,7920 \cdot H_{Ita} - 40,8857 \cdot H_{Stm} - 2603,4345 \quad (13)$$

Onde:  $Q_{Ita}$  é a descarga média diária do posto fluviométrico de Itaituba em metros cúbicos por segundo;  $H_{Ita}$  é o nível médio diário do posto fluviométrico de Itaituba em centímetros;  $H_{Stm}$  é o nível médio diário do posto fluviométrico de Santarém em centímetros.

O ajuste entre a descarga observada e calculada para Itaituba com as variáveis independentes ( $H_{Ita}$ ) níveis fluviométricos em Itaituba-PA e ( $H_{Stm}$ ) níveis fluviométricos em Santarém/PA, as quais, apresentaram resultados consistentes e significantes (Figura 6A e 6B).





**Figura 6:** Relação Descarga  $Q_{Ita\_Obs}$  versus Nível Observado em Itaituba-PA  $H_{Ita}$  e Descarga Calculada  $Q_{Ita\_Cal}$  versus Nível Observado em Itaituba  $H_{Ita}$  (A); Descarga  $Q_{Ita\_Obs}$  versus Nível Observado em Santarém  $H_{Stm}$  e Descarga Calculada  $Q_{Ita\_Cal}$  versus Nível Observado em Santarém  $H_{Stm}$  (B).

Tanto no Rio Tapajós em Itaituba, como no Rio Amazonas em Santarém os valores observados e calculados ficaram muito próximos, apresentando um bom ajuste estatístico no desempenho entre o modelado (calculado) e os dados reais (observado).

### Avaliação do Modelo de Regressão Linear Múltipla

De acordo com os resultados obtidos ( $R^2 = 0,8938$ ), significa que 89,38% da variação da vazão do rio Tapajós em Itaituba-PA  $Q_{Ita}$  pode ser explicada pela Equação 13 do modelo. A eficácia do modelo de curva-chave segundo os Índices de eficiência de Nash-Sutcliffe,  $CNS = 0,8938$  e o Índice de Tendência média das estimativas do modelo  $D = 4,858\%$ , atingida superou a melhor classificação proposta por Zappa (2002) e Moriasi et al. (2007), como a de Van Liew et al. (2003) o que significa afirmar que o modelo apresenta uma boa estimativa de pico e uma baixa tendência de superestimativa.

Oliveira et al. (2020) demonstraram haver um padrão consistente e previsível de variação sazonal do nível fluviométrico do Rio Tapajós em Santarém/PA, e sua relação direta com a pluviosidade. Essa previsibilidade pode ser importante ferramenta para a população, no planejamento anual das atividades econômicas de pesca e agricultura de várzea, de lazer, turismo e transporte fluvial. Podendo também orientar

com antecedência as intervenções necessárias do governo municipal na orla da cidade, que frequentemente sofre inundação no período de cheia, podendo minimizar os danos causados.

## CONCLUSÕES

Para a calibração de um modelo de curva-chave para estimativa de vazão diária no posto fluviométrico de Itaituba sob efeito de remanso, o quanto impactam diretamente ao meio ambiente, seja nas atividades econômicas e na sociedade daquela região.

O modelo desenvolvido para calibração da curva chave com efeito de remanso indicou muito bom ajuste conforme estatística de avaliação de desempenho. As limitações e dificuldades encontradas para o desenvolvimento da modelagem, destacou-se a baixa densidade de postos fluviométricos, a quantidade e qualidade desses dados. As dificuldades ora vistas são comuns dentro da modelagem hidrológica e estão associadas ao alto custo de instalação e principalmente de operação de postos fluviométricos remotos. Com relação a equação da curva-chave simulada pelo modelo mostrou forte aderência às observadas, com pequenos erros de estimativa, inclusive para a vazão mínima e para a vazão máxima do período em estudo. Estes resultados evidenciam a aplicabilidade do modelo em postos fluviométricos que apresentem curva-chave instável.

Dessa forma, as análises das características gerais da sub-bacia do Tapajós, juntamente com o modelo de calibração de curva chave em laço torna-se suporte básicos para estimativa de descargas para nortear estudos e pesquisas a prognosticar enchentes e estiagens, assim como monitorar as ações durante e após as suas ocorrências.

## REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional de Águas. **Água & Solo**: estudos e projetos. Relatório de consistência de dados fluviométricos da Rh Amazônica - relatório técnico. Curitiba: ANA, 2015.

BENTES, K. L. S.; OLIVEIRA, L. L.; ZACARDI, D. M.; BARRETO, N. J. C.. A relação entre a variação hidrológica e os recursos pesqueiros no baixo Amazonas, Santarém, Pará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.11, p.234-238. 2018.

GORDON, N. D.; MCMAHON, T. A.; FINLAYSON, B. L.. **Stream hydrology**: an introduction for ecologists. New York: John Wiley & Sons Ltda., 1992.

ISAAC, V. J.; BARTHEM, R. B.. Os recursos pesqueiros da Amazônia brasileira. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi**, v.11, p.295-339, 1995.

ISAAC, V. J.; MILSTEIN, A.; RUFFINO, M. L.. A Pesca Artesanal no Baixo Amazonas: Análise Multivariada das Capturas por Espécie. **Acta Amazônica**, v.26, n.185-208, 1996.

JACCON, G.. **Hidrologia**: Curva-Chave: Análise e Traçado. Brasília: DNAEE, 1989.

LEGATES, D. R.; MCCABE, G. J.. Evaluating the Use of "Goodness-of-Fit" Measures in Hydrologic and Hydroclimatic

Model Validation. **Water Resources Research**, n.35, p.233-241, 1999.

LEOPOLD, L. B.; MADDOCK, T.. **The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications**. United States Geological Survey, Prof. Paper. 252, 1953. DOI: <https://doi.org/10.3133/pp252>

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L.. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Trans. ASABE**, v.50, n.3, p.885-900, 2007.

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V.. River flow forecasting through conceptual models. Part I a Discussion of Principles. **Journal of Hydrologic**, v.1, n.10, p.282-290, 1970.

OLIVEIRA, L. L.; BARRETO, N. J. C.; JESUS, E. S.; CANANI, L. G. C.. Efeitos Dos Eventos Extremos Climáticos Na Variabilidade Hidrológica Em Um Rio De Ecosistema Tropical Amazônico. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.4, 2020.

TUCCI, C. E. M.. **Modelos Hidrológicos**. 2 ed. Porto Alegre: UFRGS, 2005.

VALE, R. S.; GOMES, A. C. S.; SANTANA, R. A. S.; TOTA, J.; MILLER, S. D.; SOUSA, R. A. F.. Hydroclimatic variables associated with El Nino and La Nina events at the Curuá-Una hydroelectric reservoir, Central Amazônia. **Revista Acta Amazônica**, v.46, p.303-308, 2016.

VAN LIEW, M. W.; ARNOLD, J. G.; GARBRECHT, J. D.. Hydrologic simulation on agricultural watersheds: choosing between two models. **Transactions of the ASAE**, v.46, p.1539-1551, 2003.

ZAAPA, M.. **Multiple-response verification of a distributed hydrological model at different spatial scales**. Thesis (Ph.D. in Natural Science) – Swiss Federal Institute of Technology, Dübendorf, 2002.

ZHANG, H. G.; FU, S. H.; FANG, W. H.; IMURA, H.; ZHANG, X. C.. Potential effects of climate change on runoff in the Yellow River Basin of China. **Transactions of the ASABE**, n.50, p.911-918, 2007.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.