

ANÁLISE DA VARIABILIDADE DO COEFICIENTE DE MANNING NO RIO TAPAJÓS

Pedro Guilherme de Lara¹

Resumo – A investigação conceitual e quantitativa dos processos hidrodinâmicos nos rios é necessário para o entendimento das complexas interações entre os rios de diferentes ordens, tais como Solimões-Amazonas e Tapajós. Nesse contexto, o monitoramento de dados fluviométricos, o levantamento de informações topobatimétricas georreferenciadas e o emprego de modelagem numérica constituem um bom caminho para buscar melhor entendimento sobre os processos hidrodinâmicos. O presente trabalho desenvolveu uma análise de dados fluviométricos com apoio de modelagem numérica hidráulica do rio Tapajós, na tentativa de melhor caracterizar o seu regime fluviométrico e quantificar a influência do rio Amazonas sobre o trecho do baixo Tapajós. Constatou-se a ocorrência de uma distribuição de frequências bimodal do nível d'água na estação fluviométrica de Itaituba, indicando efeito de remanso do rio Amazonas sobre o rio Tapajós. A calibração e a validação do modelo numérico possibilitou a representação do fenômeno de remanso, bem como permitiu estudar a variação do coeficiente de Manning em função da vazão e do nível d'água. A variação do coeficiente de Manning mostrou uma relação inversa com a vazão, não sofrendo alterações devido ao remanso formado pelo rio Amazonas.

Palavras-Chave – Bacia Amazônica, modelagem hidráulica, coeficiente de Manning.

VARIABILITY ANALYSIS OF THE MANNING COEFFICIENT IN THE TAPAJÓS RIVER

Abstract – The conceptual and quantitative investigations of the hydrodynamic processes at river scale are necessary to understand the complex interactions between rivers of different orders, such as Solimões-Amazonas and Tapajós. In this context, the monitoring of fluviometric data, the surveying of georeferenced terrain information and the use of numerical modeling are a good way to get a better understanding of hydrodynamic processes. In the present paper is showed an analysis of fluviometric data with support of hydraulic numerical modeling of the Tapajós River, in an attempt to better characterize its fluviometric regime and to quantify the influence of the Amazonas River on the lower Tapajós reach. It was verified the occurrence of a bimodal frequency distribution on the water level measurements, indicating the backwater effect of the Amazonas River on the Tapajós River. Calibration and validation of the numerical model allowed the representation of the backwater phenomenon, as well as the study of the variation of the Manning coefficient as a function of flow and water level. The variation of the Manning coefficient has showed an inverse relationship with the flow, not suffering alterations due to the backwater formed by the Amazonas River.

Keywords – Amazon Basin, hydraulic modeling, Manning coefficient.

1. INTRODUÇÃO

A drenagem fluvial da bacia Amazônica é condicionada pela interação hidrodinâmica do rio Solimões-Amazonas e seus afluentes. Strasser et al. (2005) já investigaram a hidrodinâmica de uma fração dessa drenagem fluvial e colocam que os rios Negro e Madeira são um dos principais afluentes no rio Solimões-Amazonas. A área de estudo do presente trabalho compreende um trecho de 11 km

¹ Diretor Técnico – Fractal Engenharia. pedro@fractaleng.com.br

do rio Tapajós, às margens de Itaituba/PA. Esta região caracteriza o exutório da bacia hidrográfica do Rio Tapajós, denominada como baixo Tapajós.

Swiatek (2012), HEC (2016), entre outros autores já discutiram e evidenciaram a ocorrência da variabilidade do coeficiente do Manning em função do regime fluvial em diversos rios, em diferentes condições geomorfológicas. Este é um ponto fundamental do presente trabalho que visa complementar o entendimento da variabilidade do coeficiente de Manning do rio Tapajós, ao longo do ano hidrológico.

Desta forma, a investigação dos processos hidrodinâmicos do rio Tapajós foi realizada empregando dados de topobatimetria e fluviometria do rio Tapajós, com suporte da técnica de modelagem numérica. Essa base de dados foi inserida no modelo numérico hidrodinâmico HEC-RAS, versão 5.0.3. Ao longo do trabalho são apresentados os resultados e são apresentadas as discussões sobre os processos hidrodinâmicos do rio Tapajós, e elucidado como o rio Amazonas influencia a hidrodinâmica do baixo Tapajós e afeta a variabilidade da rugosidade relativa do rio Tapajós.

2. ÁREA DE ESTUDO

De acordo com Ferreira et al. (1998), o rio Tapajós é um dos maiores tributários do rio Amazonas, com uma área de drenagem da sua bacia hidrográfica de aproximadamente 498.000 km². Na seção transversal de monitoramento fluviométrico entre o município de Itaituba, situado na margem esquerda do rio Tapajós, e o distrito de Miritituba, na margem direita do rio Tapajós, a área de drenagem é de aproximadamente 458.000 km². A Figura 1 ilustra, em mapa georreferenciado, o local da área de estudo e feição da topobatimetria do trecho estudado, com extensão de 11 km, do rio Tapajós.

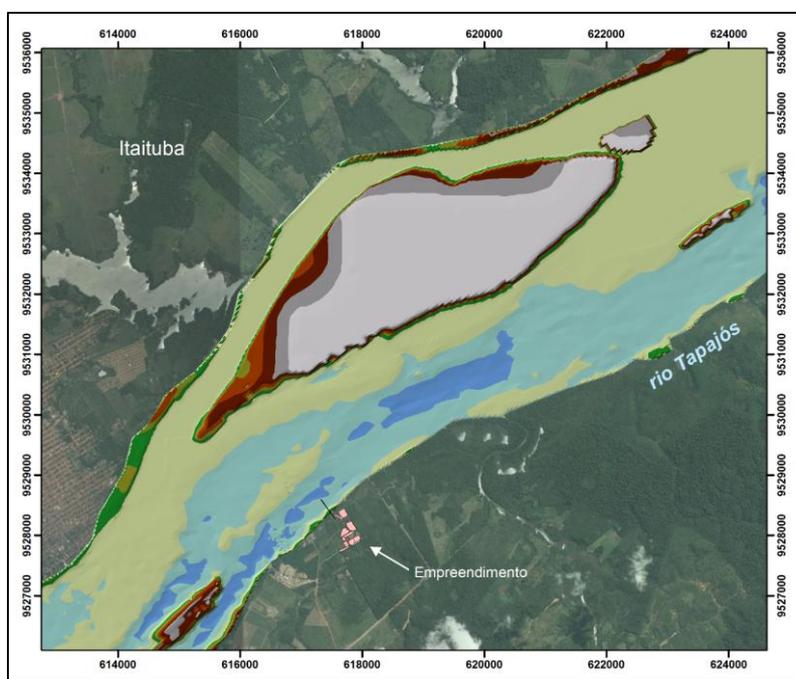


Figura 1. Topobatimetria do trecho do rio Tapajós em Itaituba, PA.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho está fundamentado na análise de dados fluviométricos da estação fluviométrica de Itaituba – 17730000, localizada no trecho estudado do rio Tapajós. Primeiramente é analisado como o rio Amazonas afeta a hidrodinâmica do rio Tapajós, na região do baixo Tapajós. Após

a identificação de padrões de interferência do rio Amazonas sobre o rio Tapajós, empregou-se a modelagem numérica para identificar e caracterizar a variabilidade fluvial do coeficiente de rugosidade relativa de Manning. Sobre definições do conceito de rugosidade, o autor indica a consulta às referências Swiatek (2012) e HEC (2016), por questão de brevidade.

Todas as informações empregadas no presente estudo são provenientes de bases de dados oficiais do Governo Federal, da Agência Nacional de Águas e Marinha do Brasil.

3.1. Estação Itaituba - 17730000

O trecho entre Itaituba e Santarém apresenta declividade suave, da ordem $1E-5$ m/m. Logo, uma pequena variação de cota propaga o remanso por grandes distâncias, aproximadamente 250 km, distância linear entre Santarém e Itaituba. A série histórica de leituras do nível d'água, consistida e disponível para a estação Itaituba - 17730000, inicia em fevereiro de 1968 e se estende até março de 2007, contemplando 40 anos de dados válidos.

Numa análise estatística de distribuição de frequências ficou evidenciado um padrão bimodal (Figura 2) nas médias diárias das leituras de nível d'água. Este tipo de comportamento estatístico não é comum em condições normais de escoamento de um rio, sem que exista a presença de controles hidráulicos de jusante.

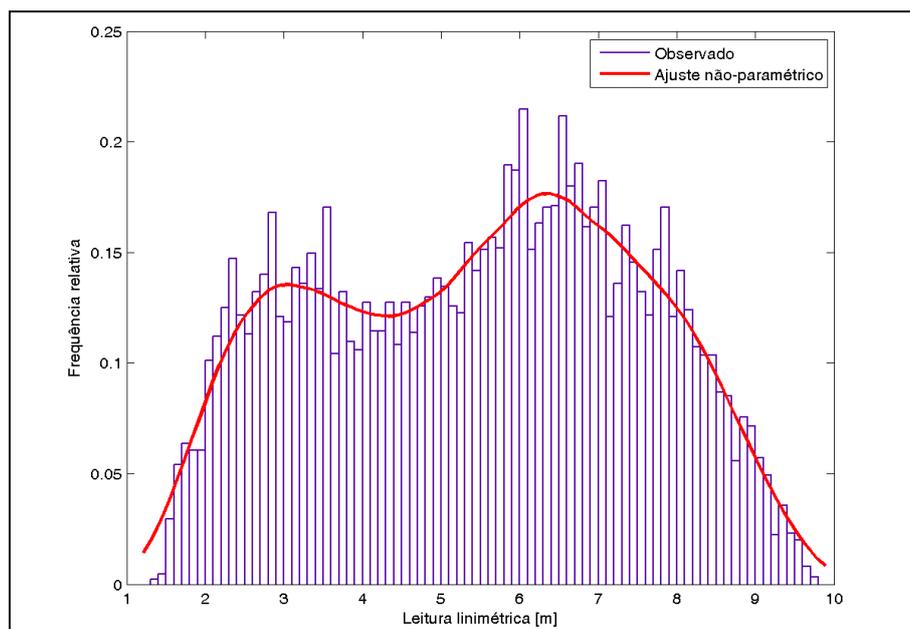


Figura 2 – Distribuição estatística das leituras de nível d'água das médias diárias para a estação fluviométrica Itaituba - 17730000.

Na análise sazonal de longo período verificou-se o padrão de variação do regime fluvial no rio Tapajós na estação Itaituba - 17730000. A resposta fluvial da área de drenagem do rio Tapajós segue a reposta climatológica, com uma ocorrência de estação de cheia e outra ocorrência de seca. Logo, a drenagem da bacia Amazônica segue o comportamento do regime climatológico, e na escala temporal sazonal, o comportamento bimodal do nível d'água passa a não ser percebido no rio Tapajós. Isto indica que o rio Amazonas influencia a hidrodinâmica do rio Tapajós nos períodos de recessão das cheias.

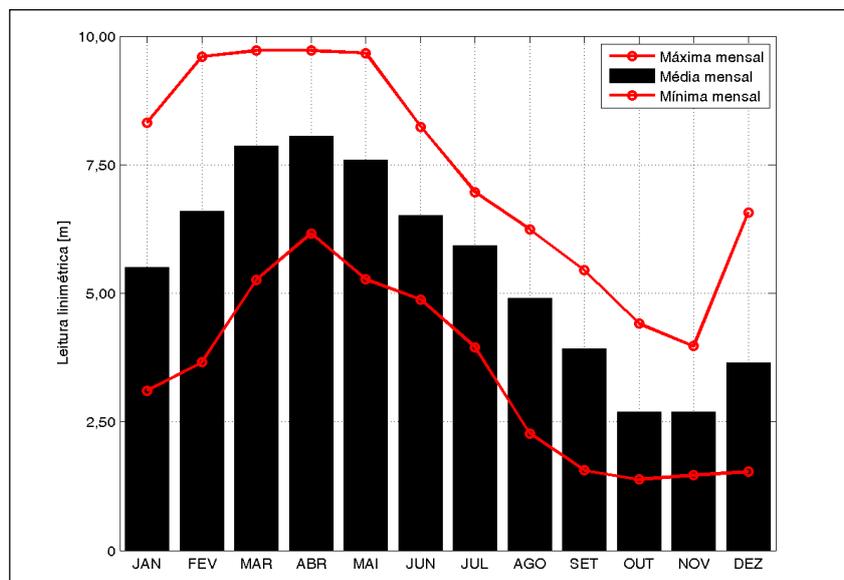


Figura 3 – Representação sazonal de longo período de leituras de nível d'água para a estação Itaituba – 17730000.

3.2. Modelo hidrodinâmico

A análise desenvolvida no presente trabalho empregou o modelo numérico HEC-RAS, versão 5.0.3. O HEC-RAS (HEC, 2016) é um modelo numérico hidrodinâmico com solução unidirecional e bidimensional contemplando o cálculo da distribuição horizontal do fluxo e fluxo ortogonal nas áreas de armazenamento sobre a planície de inundação. Este modelo é difundido mundialmente com diversas aplicações em diferentes condições e é recomendado pela FEMA (Federal Emergency Management Agency) nos EUA.

O modelo HEC-RAS foi empregado como reconstituir o comportamento fluviométrico do rio Tapajós, a fim de identificar o comportamento da variabilidade do coeficiente de Manning em função do regime fluviométrico. O modelo foi condicionado aos dados topobatimétricos e aos dados fluviométricos de vazão e nível d'água.

3.3. Funções-objetivo

O desempenho da calibração e a consolidação da validação do modelo numérico HEC-RAS foram baseados na seguinte função objetivo, para a variável de nível d'água na estação fluviométrica Itaituba - 17730000: NSE (Coeficiente de Nash).

$$NSE = 1 - \frac{\sum_i (O_{obs} - O_{simu})^2}{\sum_i (O_{obs} - \bar{O}_{obs})^2} \quad (1)$$

4. RESULTADOS

A análise hidrodinâmica, através de calibração e validação do modelo numérico hidrodinâmico, foi realizada para os anos de 1996 e 2006, de forma a determinar a variabilidade do coeficiente de Manning ao longo do ano hidrológico e verificar a ocorrência do remanso do rio Amazonas sobre o rio Tapajós. Para o ano de 2006 foi empregado séries temporais de vazão e nível d'água na calibração do modelo numérico, e para o ano de 1996, séries temporais de vazão e nível d'água foram empregadas na validação. Neste caso, chama-se validação, pois o mesmo modelo numérico da calibração foi empregado para os dados do ano de 1996. Todas as séries temporais empregadas estão amostradas pela média diária de nível d'água e de vazão.

O modelo numérico HEC-RAS foi calibrado e validado para o regime não permanente e não uniforme para os anos de 2006 e 1996, respectivamente. Esse procedimento foi desenvolvido de forma a determinar a variabilidade temporal e hidráulica do coeficiente de Manning no trecho estudado do rio Tapajós. Logo, o coeficiente de Manning foi ajustado para variar em função da vazão e nível d'água, a partir de um valor de referência igual a 0,025.

A Figura 4 ilustra a calibração e validação do modelo numérico HEC-RAS, para a análise em regime não permanente, na seção transversal da estação fluviométrica Itaituba – 17730000. O modelo reconstituiu o comportamento do nível d'água com a condição de contorno de regime de vazões e a linha de energia calculada pela redução da carta de navegação do trecho do rio Tapajós entre Itaituba e Santarém, PA.

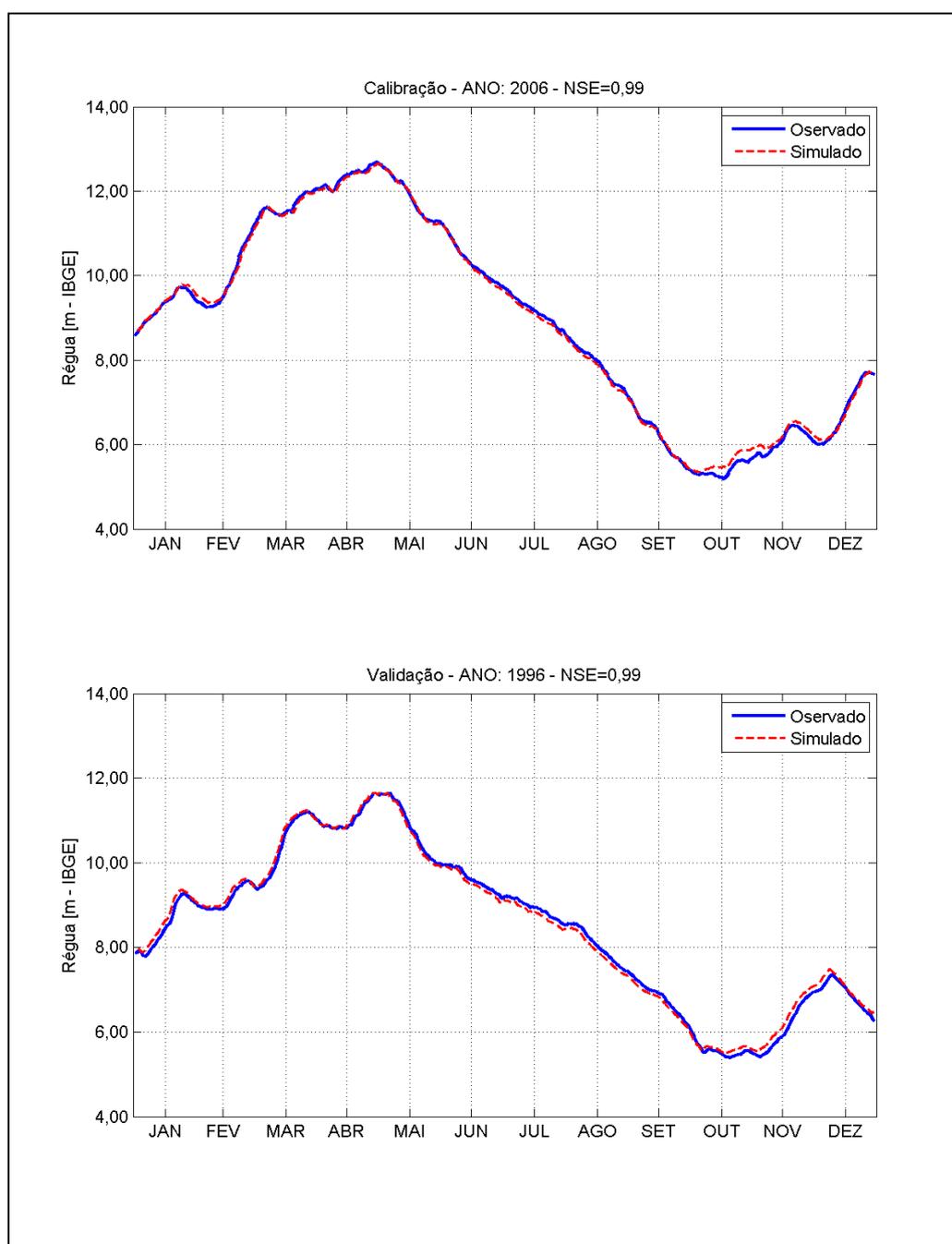


Figura 4: Calibração e validação do modelo HEC-RAS – Regime não permanente e não uniforme.

O trecho estudado do rio Tapajós possui uma calha com um fluxo preferencial bem definido e retilíneo profundo e composição do sedimento de fundo de areia fina e média. Isto contribui para que o valor do coeficiente de rugosidade seja baixo. A Figura 5 ilustra a variação do coeficiente de Manning ao longo do ano hidrológico, em função da variação da vazão e o nível d'água.

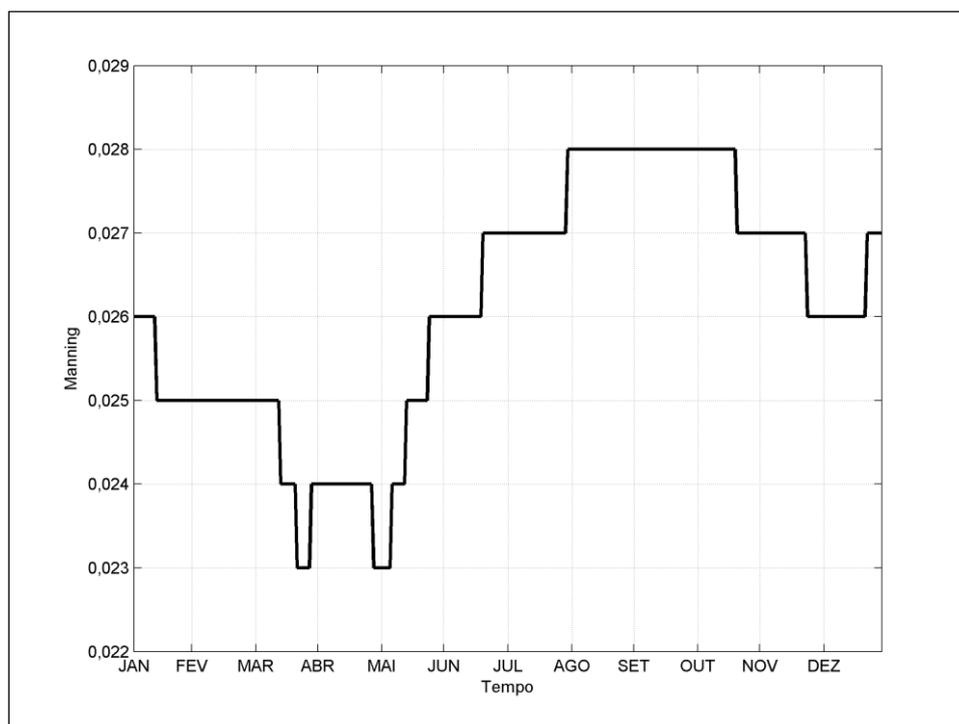


Figura 5 – Variação temporal (sazonal) do coeficiente de Manning.

O rio Tapajós mostrou, na faixa de variação de vazão entre 5.000 m³/s e 30.000 m³/s, uma variação de 12% no entorno do valor de convergência do coeficiente de Manning inicial, igual a 0,025. A variação do coeficiente de Manning ficou no entorno de 0,023 até 0,028. Strasser et al. (2005) observou uma variabilidade maior do coeficiente de rugosidade de Manning dos rios Madeira e Solimões-Amazonas, para as faixa de vazões entre 10.000 m³/s até 60.000 m³/s.

Cabe salientar que no trecho estudado não ocorre extravasamento da calha principal do rio Tapajós sobre as planícies de inundação, fenômeno comum na bacia Amazônica. A variação do nível d'água ocorre na calha principal do rio Tapajós, então a energia específica e o balanço de massa do escoamento são controlados somente pela afluência de vazões no trecho. Nesta condição, o coeficiente de Manning varia inversamente ao regime de fluviométrico.

Caso ocorra o extravasamento do rio sobre áreas de armazenamento, tal alteração energética e de balanço de massa podem alterar o comportamento da variabilidade do coeficiente como a apresentada. Assim, investigações caso a caso devem ser realizadas, primeiramente com entendimento conceitual dos fenômenos hidráulicos para então o desenvolvimentos de modelos numéricos.

A Figura 6 ilustra a relação entre a vazão e o coeficiente de Manning no trecho estado no presente trabalho do rio Tapajós.

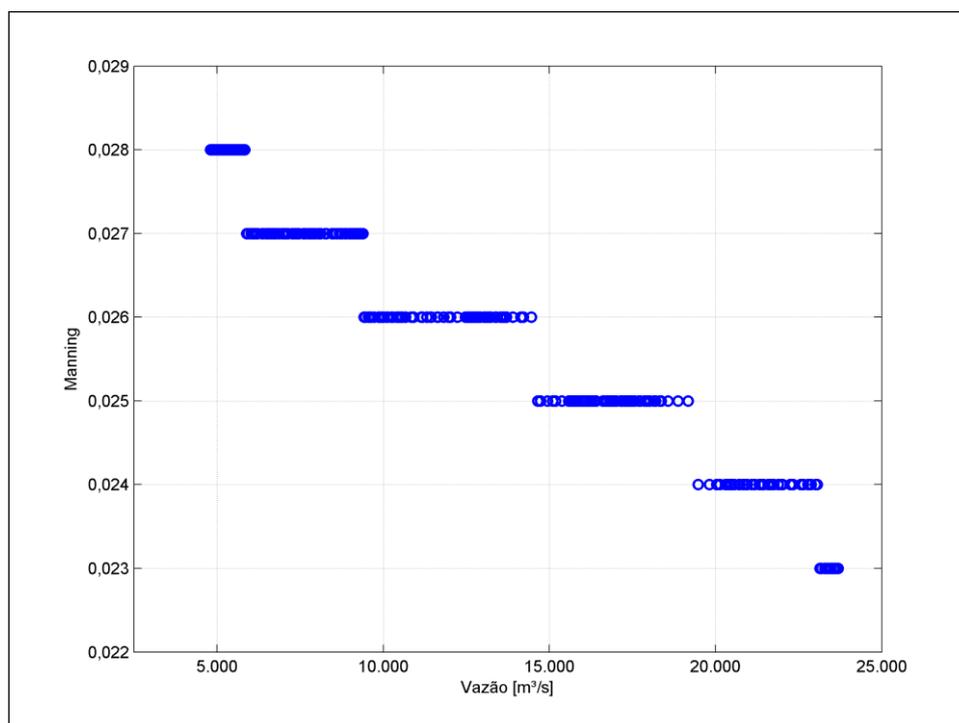


Figura 6 – Relação Vazão VS. Coeficiente de Manning.

5. CONCLUSÃO

Devido à complexidade das interações hidrodinâmicas da rede de drenagem da bacia Amazônica, é imprescindível o desenvolvimento de estudos fundamentados e embasados em técnicas observacionais, de forma a atribuir validade estatística sobre afirmações e hipóteses do comportamento real do regime fluviométrico. Tal afirmação vale para qualquer rede de drenagem fluvial, independentemente de escala temporal ou espacial.

Os dados topobatimétricos e fluviométricos subsidiaram coerentemente a investigação sobre os processos hidrodinâmicos do trecho estudado do rio Tapajós. O modelo numérico hidrodinâmico mostrou ser útil na reconstituição do comportamento no nível d'água do rio Tapajós, e através de sua formulação, foi possível identificar o padrão de variabilidade hidráulico e temporal do coeficiente de Manning.

O variabilidade do coeficiente de Manning observada no presente trabalho não é passível de ser diretamente extrapolada para outros trechos do rio Tapajós ou para outros rios de bacias hidrográficas diferentes, sem antes o desenvolvimento de um estudo hidráulico aprofundado. Efeitos de jusante não afetaram o comportamento esperado para a relação vazão e coeficiente de Manning.

Estudos hidráulicos devem ser conduzidos levando em consideração a natureza não linear dos processos hidráulicos a nível de drenagem fluvial. Assim, deve-se analisar e investigar esses processos à luz do regime não permanente e não uniforme, evitando assim aproximações em regime permanente e uniforme.

6. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) (ANA). Hidroweb: sistemas de informações hidrológicas. Dados Hidrológicos. Estações. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?TocItem=1070&TipoReg=7&MostraCon=false&CriArq=false&TipoArq=1&SerieHist=false>>.

FERREIRA, E.J.G; ZUANON, J.A.S.; SANTOS, G.M. Peixes comerciais do médio Amazonas: região de Santarém, Pará. Brasília: Edições IBAMA, 1998. 211p.

HEC - HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER. HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual, Version 5.0. US Army Corps of Engineers, Davis, USA, 2016, 539p.

STRASSER, M.A.; RIBEIRO NETO, A.; SILVA, R.C.V.; MASCARENHAS, F. C. B. Estudo da Variação do Coeficiente de Rugosidade de Manning em Rios da Bacia Amazônica por Meio de Modelagem Hidrodinâmica. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa/PB. Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Porto Alegre, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2005. v. 1.

SWIATEK, D. M. Unsteady 1D Flow Model of Natural Rivers with Vegetated Floodplain - An Application to Analysis of Influence of Land Use on Flood Wave Propagation in the Lower Biebrza Basin, Water Resources Management and Modeling, Dr. Purna Nayak (Ed.), ISBN: 978-953-51-0246-5, InTech, (2012).