



ANÁLISE HIDROLÓGICA DO IGARAPÉ DO MINDU, MANAUS, AMAZONAS, BRASIL

Hydrological analysis of Mindu Igarapé, Manaus, Amazonas, Brazil

Análisis hidrológica del igarapé mindu, Manaus, Amazonas, Brasil

Analyse hydrologique du Igarapé Mindu, Manaus, Amazonas, Brésil

 <https://doi.org/10.35701/rcgs.v22n3.704>

Matheus Silveira de Queiroz¹

Selma Paula Maciel Batista²

Neliane de Sousa Alves³

Histórico do Artigo:

Recebido em 14 de Outubro de 2020

Aceito em 26 de Novembro de 2020

Publicado em 30 de Dezembro de 2020

RESUMO

O objetivo deste artigo é analisar parâmetros hidrológicos no Igarapé do Mindu, localizado na área urbana da cidade de Manaus. Foram calculadas as médias mensais de cota e precipitação para entender a importância de ambas para o regime hidrológico. Realizou-se trabalhos de campo entre os anos de 2018-2019 em seis pontos de análise para calcular a velocidade de fluxo (utilizou-se o método do flutuador), vazão do igarapé e observar influências naturais e antrópicas no canal. O Igarapé do Mindu possui o período de cheia entre janeiro-maio e a vazante entre junho-dezembro, sendo que as cotas do igarapé são influenciadas pelo regime de precipitação da cidade de Manaus. Porém, o baixo curso do igarapé segue o regime hidrológico do rio Negro, isto ocorre, pois o igarapé é submetido a um barramento hidráulico. A velocidade média anual no igarapé é $0,9 \text{ m s}^{-1}$ e vazão média anual é $14,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, sendo que a vazão e a velocidade ao longo da extensão do igarapé são influenciada por um barramento hidráulico, neotectônica e influência antrópica. O barramento hidráulico atua no baixo curso e diminui a velocidade de fluxo influenciando diretamente na vazão. No ponto dois observa-se

¹ Mestrando em Geografia pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Email: matheussilveiradequeiroz@gmail.com,

 <http://orcid.org/0000-0001-8722-7715>

² Professora Adjunta na Universidade do Estado do Amazonas (UEA). Email: sbatista@uea.edu.br,

 <https://orcid.org/0000-0002-4418-5436>

³ Professora Adjunta na Universidade do Estado do Amazonas (UEA). Email: nsalves@uea.edu.br,

 <https://orcid.org/0000-0003-4851-8514>

um *knickpoint* que aumenta substancialmente a velocidade local de fluxo. As alterações antrópicas no canal como retificações e dragagem modificam o leito e as margens alterando, por consequência, a velocidade de fluxo e vazão.

Palavras-chave: Hidrologia Urbana; Mindu; Rios em Áreas Urbanas.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to analyze the hydrological parameters in the Mindu Igarapé, located in the urban area of the Manaus city. We calculated the monthly means of water level and precipitation to understand the importance for the hydrological regime and carried out fieldwork between the years 2018-2019 at six analysis points to calculate the flow velocity (the float method was used) and water discharge and observe natural and antropic influence in the hydrological regime. The Mindu Igarapé has the flood period occurs between January-May and the ebb period between June-December, and the quotas are influenced by the precipitation regime of the city of Manaus. The lower Mindu follows the hydrological regime of the Negro River, this is because the stream is subjected to a backwater effect. The mean annual velocity in the stream is 0.9 m s^{-1} and the mean annual water discharge is $14.6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, and the water discharge and flow velocity along the stream length is influenced by a backwater effect, neotectonic and anthropic influence. The backwater effect acts in the lower Mindu and decreased the flow velocity, directly influencing the water discharge. In point two, a knickpoint is observed that substantially increases the local flow velocity. Anthropic changes in the channel, such as rectifications and dredging, modify the bed and the banks, consequently changing the water discharge and flow velocity.

Keywords: Urban Hydrology; Mindu; River in Urban Area.

RESUMEN

aculamos las medias mensuales de nivel de agua y precipitación para comprender la importancia para el régimen hidrológico y realizamos trabajo de campo entre los años 2018-2019 en seis puntos de análisis para calcular la velocidad de flujo (se utilizó el método de flotación) y descarga de agua y observar naturales e influencia antrópica en el régimen hidrológico. El Igarapé del Mindu tiene el período de crecidas ocurre entre enero-mayo y el período bajo entre junio-diciembre, y las cuotas del igarapé están influenciadas por el régimen de precipitaciones de la ciudad de Manaus. El bajo Mindu sigue el régimen hidrológico del río Negro, esto se debe a que el arroyo está sujeto a un efecto de remanso. La velocidad media anual en la corriente es de $0,9 \text{ m s}^{-1}$ y la descarga de agua media anual es de $14,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, y la descarga de agua y la velocidad a lo largo de la corriente está influenciada por un efecto de remanso, influencia neotectónica y antrópica. El efecto de remanso actúa en el Mindu inferior y disminuye la velocidad del flujo, influyendo directamente en la descarga de agua. En el punto dos, se observa un punto que aumenta substancialmente la velocidad del flujo local. Los cambios antrópicos en el igarapé, como rectificaciones y dragados, modifican el lecho y las riberas, modificando consecuentemente la descarga del agua y la velocidad del flujo.

Palabras clave: Hidrología urbana; Mindu; Río en zona urbana.

INTRODUÇÃO

Os estudos sobre hidrologia urbana são bem documentados na comunidade acadêmica, sendo que os efeitos do processo de urbanização no meio natural são múltiplos, quebrando o equilíbrio dinâmico dos sistemas fluviais (CHARLTON, 2008) e compondo uma nova hidromorfodinâmica para os sistemas afetados. Portanto, devem-se estudar de forma aprofundada os sistemas fluviais em áreas urbanas, sendo necessário um monitoramento em menor escala para entender como cada sistema responderá aos diferentes tipos de intervenção antrópica (NIEMCZYNOWICZ, 1999).

Porto *et al.* (2001, p.808) observam que a urbanização causa uma série de consequências na rede de drenagem urbana. Com a urbanização, a densidade populacional e de construção cresce, aumentando as águas servidas e áreas impermeabilizadas. O aumento das áreas impermeabilizadas

(telhados, ruas, calçadas, pátios etc.) aumenta o escoamento superficial e a água que infiltrava no ambiente natural é transportada para o fundo de vale (canal principal da bacia) de forma mais eficaz, aumentando o volume de água e exigindo maior capacidade das seções transversais do canal. Isto acelera a vazão de pico no canal principal podendo ocasionar eventos inundação com maior frequência (YOSHIMOTO; SUEGUETSU, 1990).

Stevaux e Latrubesse (2017, p. 257-266) afirmam que os impactos hidrofísicos em um canal fluvial, induzidos pelo homem, podem ser classificados em diretos e indiretos. Os primeiros são obras diretamente no canal como, por exemplo, contenção de erosão de margem (regionalmente chamada de *rip-rap*); os segundos são atividades em toda a bacia de drenagem, relacionado ao uso e ocupação do solo. Os autores apresentam três formas de intervenção direta: regulação de fluxo, canalização e dragagem, e duas formas de intervenção indireta: uso e ocupação da bacia e alteração na rede de drenagem.

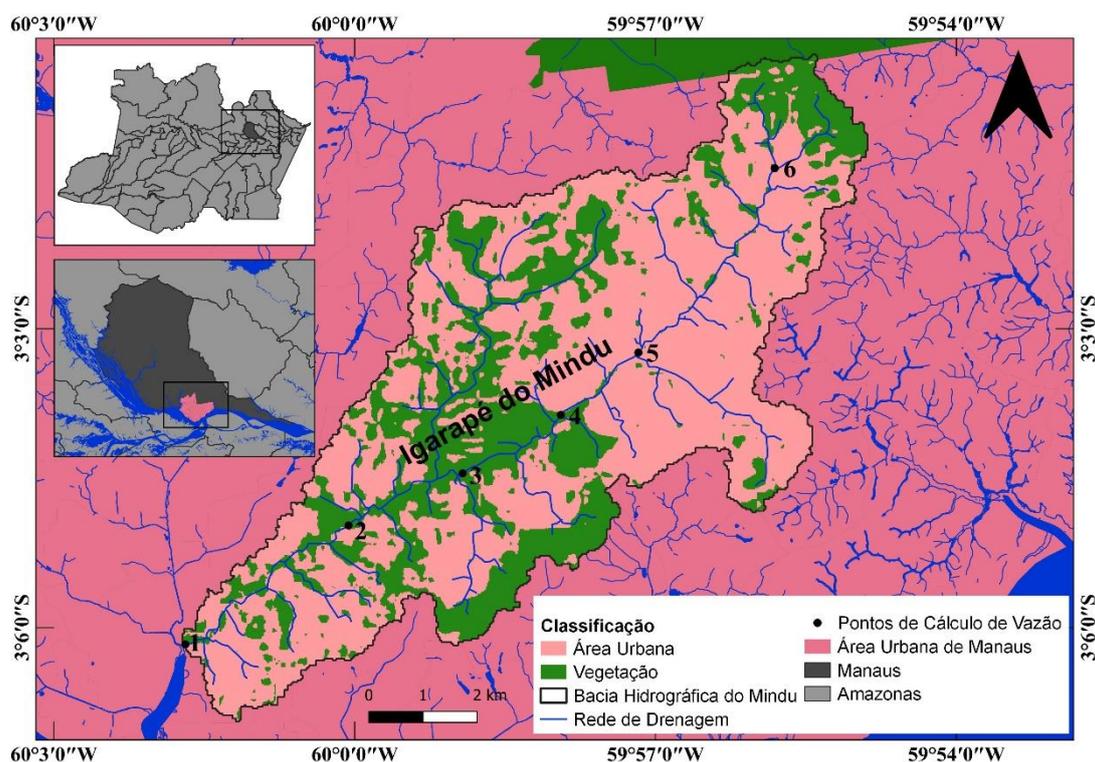
Portanto, para entender a hidrodinâmica de um rio em área urbana é necessário analisar as características hidrológicas e fatores que podem influenciar na hidrologia urbana de forma aprofundada, logo este trabalho busca analisar parâmetros hidrológicos em um sistema fluvial na área urbana da cidade de Manaus – AM.

Localização da Área de Estudo

A bacia hidrográfica do Mindu (Figura 1), é uma sub-bacia da bacia do São Raimundo, tendo sua foz na confluência entre seu canal principal, o igarapé do Mindu, e o igarapé dos Franceses, rio principal da bacia dos Franceses. A bacia do Mindu possui uma área de 66 km² e seu canal principal uma extensão de 18,2 km (QUEIROZ *et al.*, 2020).

A bacia localiza-se na área urbana do município de Manaus que, segundo estimativas de 2019 do Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia – IBGE (2019), possui uma população de 2.145.444 habitantes. A cidade possui uma ampla rede de drenagem e sua área urbana comporta quatro bacias hidrográficas principais: São Raimundo, Tarumã, Puraquequara e Educandos, além de diversos afluentes que compõe a malha hídrica da metrópole.

Figura 1: Localização da Bacia Hidrográfica do Mindu – Manaus.



Elaboração: Os autores, 2020.

Há na área da bacia hidrográfica do Mindu um corredor ecológico e dois parques municipais: Corredor Ecológico do Mindu, instituído pelo Decreto nº 8.352 de 17 de março de 2006 (MANAUS, 2006a); Parque Municipal do Mindu, Unidade de Conservação – UC de Proteção Integral, instituída pela Lei nº 219 de 11 de novembro de 1993 (MANAUS, 1993); o Parque Municipal Nascentes do Mindu, também uma UC de Proteção Integral, instituída pelo Decreto nº 8.351 de 17 de março de 2006, que tem como objetivo proteger as nascentes do igarapé (MANAUS, 2006b).

MATERIAIS E MÉTODOS

Dados Secundários

Foram utilizados dados de precipitação disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET na estação pluviométrica de Manaus (Código = 14990000) (<http://www.inmet.gov.br/>) (1970-2018) e dados de cota disponibilizados pela Agência Nacional de Águas – ANA (<http://www.ana.gov.br/>) e por Filizola e Oliveira (2012) na estação fluviométrica do igarapé do Mindu (Código = 14970000) (2011 e 2014). E foram calculadas as médias mensais para as duas estações. Devido à série histórica curta dos dados de cota, neste trabalho será apresentada apenas a tendência do regime hidrológico do igarapé do Mindu.

Dados de Campo

Segundo Carvalho (2008) a vazão é o volume de água que passa em parte de um trecho do canal fluvial em um determinado tempo, normalmente expresso em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$, de acordo com o Sistema Internacional (SI) de Medidas. Utiliza-se três variáveis para o cálculo, a velocidade média de fluxo (V_m), a largura do canal (W) e a profundidade média na seção transversal do canal (h), representados matematicamente na equação 1:

(1)

$$Q = (W \cdot h) \cdot V_m$$

Onde:

Q = Vazão ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)

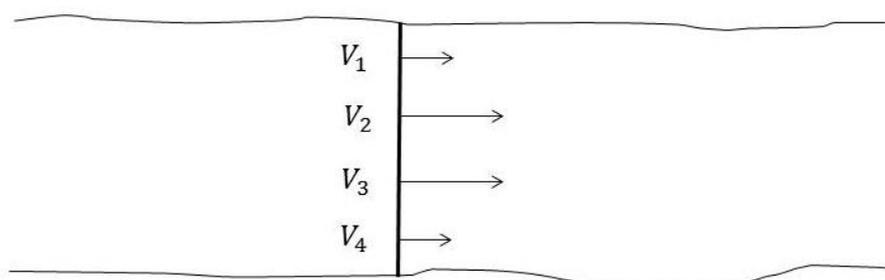
W = Largura do canal (m)

h = Profundidade Média da Seção Transversal (m)

V_m = Velocidade Média de Fluxo (m s^{-1})

Segundo Whiting (2003, p. 323) existem diversos métodos para medições da velocidade de Fluxo (Flutuador, Molinete, ADCP). Para as medições em campo foi utilizado o método do Flutuador. Stevaux e Latrubesse (2017, p. 92) afirmam que o método do flutuador de obtenção da velocidade de fluxo é baseado no tempo que um objeto demora em percorrer determinado espaço pré-determinado.

Stevaux e Latrubesse (2017, p. 93) sugerem objetos como cascas de laranja; Carvalho (2008, p. 79) sugere objetos como folhas. Utilizou-se, nesta pesquisa, uma noz para a medição da velocidade de fluxo. Whiting (2003, p. 324) recomenda que o espaço determinado seja o suficiente para o objeto percorrê-lo em 20 segundos. Carvalho (2008, p. 79) sugere a distância de 10 metros para o objeto percorrer, sendo essa distância adotada na pesquisa, sendo feito cálculo em quatro pontos da sessão transversal e calculada a média dos pontos (Figura 2).

Figura 2: Esquema de medição pelo método do flutuado.

$$V_{m\acute{e}dia} = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + V_4}{\text{N\acute{u}mero de medi\c{c}\~{o}es}}$$

Elaboração: Os autores, 2020.

Stevaux e Latrubesse (2017, p. 93) consideram o método do flutuador grosseiro e possui uma faixa de erro entre 10 e 25%, Whiting (2003, p. 324) indica que a faixa de erro é entre aproximadamente entre 10 e 20%. Foi realizada a média entre os pontos e utilizada a equação 1 apresentada por Carvalho (2008, p. 79) para transformar os dados obtidos pelo flutuador em m/s (Equação 3):

(3)

$$V = \frac{d}{t}$$

Onde:

V = Velocidade

d = Distância que o Flutuador percorreu

t = Tempo que o Flutuador percorreu

Stevaux e Latrubesse (2017, p. 93) afirmam que a velocidade de superfície é ligeiramente superior que a velocidade média. Para calcular a vazão utiliza-se a velocidade média, portanto é preciso converter os valores, pois com o método do flutuador se obtém a velocidade superficial. Whiting (2003, p. 333) afirma que a multiplicação da média de vários flutuadores por um fator de conversão “K” resulta na velocidade média do canal. Segundo o autor o fator de conversão varia de canal para canal. Stevaux e Latrubesse (2017, p. 93) afirmam que esse valor pode variar entre 0,7 e 0,9. Porém, neste trabalho utiliza-se o valor sugerido por Mosley e Mc Kerchar (1992) que convencionou o valor do coeficiente para 0,86 para rios em geral (Equação 3):

(3)

$$V_m = 0,86 V_s$$

Onde:

V_m = Velocidade média (m s⁻¹)

V_s = Velocidade Superficial

Queiroz *et al.* (2020) observaram que as condições climáticas de precipitação diárias podem alterar a vazão do igarapé do Mindu, influenciando na velocidade de fluxo. Portanto, considerou-se a ocorrência de precipitações nas últimas 24 horas com dados da estação pluviométrica de Manaus (Código = 14990000) para as médias de velocidade. Foram feitas medições em seis pontos ao longo da extensão do igarapé do Mindu, não havendo precipitação (Quadro 1). As medições foram realizadas nos períodos de enchente e cheia (novembro a julho) e vazante (agosto a outubro) do rio Negro (FILIZOLA *et al.*, 2009, p.1003-1004).

Quadro 1: Pontos de medição da velocidade superficial de fluxo utilizando o método do Flutuador, largura do canal e profundidade média para o cálculo da vazão.

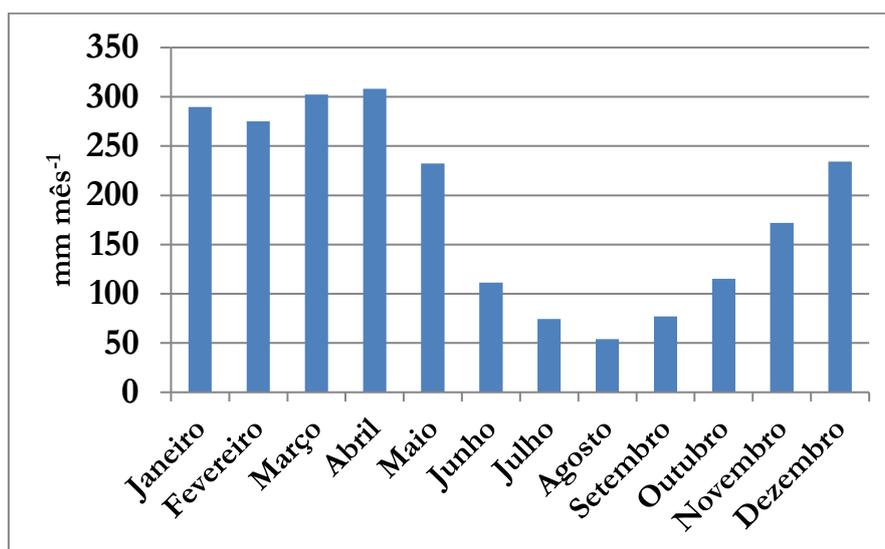
Pontos	Coordenadas Geográficas	Data/Hora
Float1	S 3° 6'10.38" W 60° 1'43.72"	05/05/2018/ 8 horas
		10/10/2018/ 8:30 horas
		06/04/2019/ 10:30 horas
		11/10/2019/10 horas
Float2	S 3° 4'54.77" W 60° 0'12.58"	19/05/2018/ 8 horas
		10/10/2018/ 11 horas
Float3	S 3° 4'25.96" W 59°58'56.14"	19/05/2018/ 9:30 horas
		12/10/2018/ 11:30 horas
Float4	S 3°4'1.58" W 59°58'6.09"	31/05/2018/ 9 horas
		12/10/2018/ 14 horas
Float5	S 3° 3'13.33" W 59°57'11.02"	31/05/2018/ 10 horas
		15/10/2018/ 11 horas
Float6	S 3° 1'22.36" W 59°55'49.41"	16/06/2018/ 10:30 horas
		15/10/2018/ 14 horas

Elaboração: Os autores, 2020. (Para localização geográfica dos pontos ver Figura 1).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na região de Manaus a precipitação média anual acumulada entre 1970 e 2018 é de 2245,4 mm ano⁻¹, sendo que mensalmente a intensidade das precipitações é distribuída de forma heterogênea (Figura 3).

Figura 3: Precipitação Média na Estação Pluviométrica de Manaus entre 1970 e 2018.



Fonte: INTET. Elaboração: Os autores, 2019.

Os meses que os volumes precipitados são maiores correspondem a janeiro, fevereiro, março e abril sendo que a média desses meses é de 289,5 mm mês⁻¹, 275,1 mm mês⁻¹, 302,4 mm mês⁻¹, 308,2 mm mês⁻¹, respectivamente. No mês de maio o volume precipitado começa a diminuir, apresentando 232,3 mm mês⁻¹, nos meses de julho e junho continua diminuindo, apresentando 111,2 mm mês⁻¹ e 74,5 mm mês⁻¹, respectivamente. O mês de agosto é o que possui o menor volume precipitado com 53,9 mm mês⁻¹, setembro possui 76,9 mm mês⁻¹ e outubro 115,1 mm mês⁻¹, iniciando o aumento no volume precipitado que segue nos meses de novembro e dezembro com 172,1 mm mês⁻¹ e 234,2 mm mês⁻¹, respectivamente.

Queiroz (2019) e Queiroz e Alves (2020a) analisando os fatores que podem causar risco a inundação na bacia hidrográfica do igarapé do Mindu afirma que o alto grau de urbanização no ano de 2018 (54,4 km² dos 66 km² da bacia), a extensão do percurso do escoamento superficial (0,4 km) que indica a distância média que a água percorre até alcançar o canal. Queiroz e Alves (2020b) aplicaram diferentes fórmulas de tempo de concentração para a bacia do Mindu (Tabela 1) com o valor médio de 7,1 horas, porém os autores indicam que a fórmula mais confiável para a bacia do Mindu, com base em

dados de velocidade de fluxo, é a fórmula do Método Cinemático (5 horas), durante as precipitações, devido ao aumento na velocidade de fluxo o tempo de concentração é ainda menor.

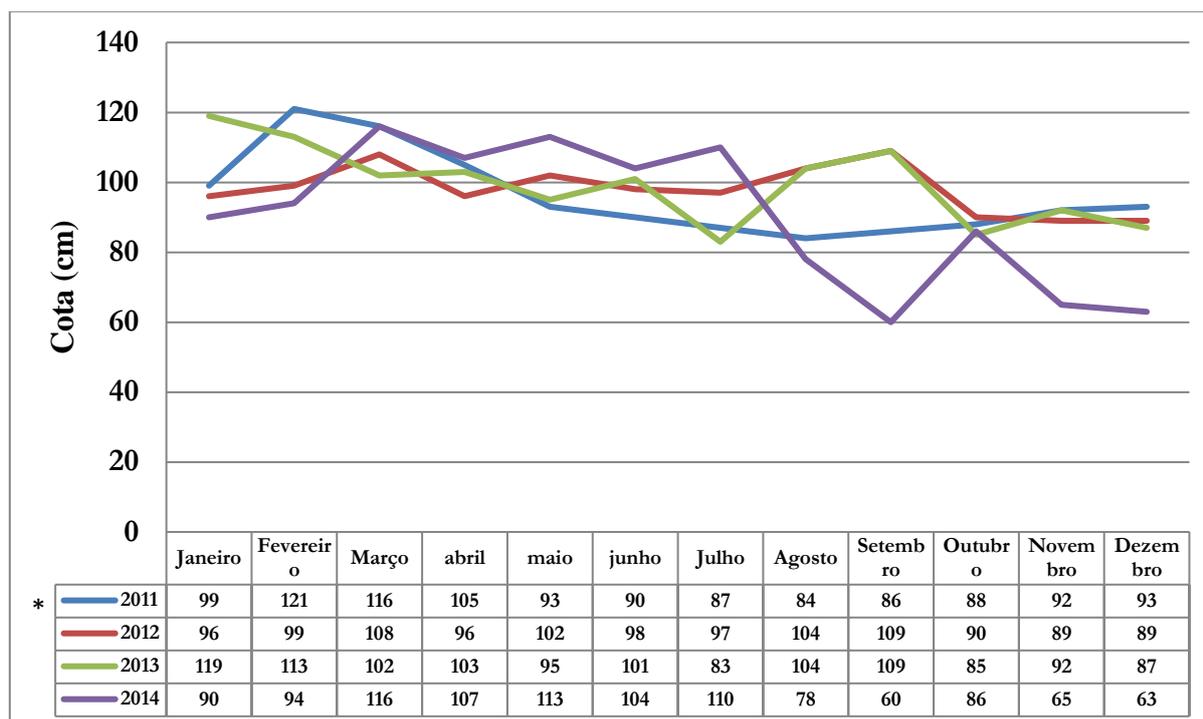
Tabela 1: Diferentes Fórmulas de Tempo de Concentração para a Bacia do Mindu.

Fórmula	Resultado (Horas)
Método Cinemático	5
Carter	4,5
Picking	5,9
Giandotti	5,5
Kirpich	8,6
Kirpich_DER	6,7
David	10,7
US Corps Engineers	6,3
Johnstone	10,8
Média	7,1
Desvio Padrão	2,4
Coefficiente de Variação	33%

Fonte: Queiroz e Alves (2020b).

Queiroz *et al.* (2020) afirmam que a largura do espelho d'água durante um evento de precipitação pode chegar à 200 metros no alto curso. Para Gama (2013) no baixo curso do igarapé do Mindu para ocorrer inundações é necessário volumes precipitados acima de 40 mm durante um único evento climatológico. Queiroz (2019) afirma que os eventos de precipitação extrema estão retornando com maior frequência no século XXI, de forma que os riscos hidrológicos vêm se tendo um aumento no seu grau de ocorrência na bacia do Mindu.

Segundo Marinho e Silva (2016) o alto curso da bacia do Mindu é o mais afetado por eventos de inundações, isto ocorre devido às condições socioeconômicas e a proximidade das residências aos cursos d'água. O transbordamento das águas destes canais devido a fatores antrópicos e naturais também são determinantes no aumento do grau de casos de risco hidrológico na bacia (QUEIROZ *et al.*, 2020; QUEIROZ, 2019; ALVES *et al.*; 2016). Queiroz *et al.* (2020) e Filizola e Oliveira (2012) observaram que o regime de precipitação local, ou seja, na própria bacia, influência no regime hidrológico do igarapé do Mindu (Figura 4).

Figura 4: Cotagrama mensal da estação fluviométrica do igarapé do Mindu (14970000).

Fonte: ANA. *Filizola e Oliveira (2012). Elaboração: Os autores, 2019.

Analisando os dados pode-se determinar os períodos de cheia e vazante ao qual o igarapé está submetido. O período de cheia no igarapé começa no mês de janeiro e finaliza em maio. O pico de cheia ocorre em março com cota média medida é de 110,5 cm. A vazante inicia em junho e finaliza em dezembro, e o pico de vazante ocorre em dezembro com média de 83 cm. Observa-se a importância do regime de precipitação local para o regime hidrológico do igarapé do Mindu, os meses com os maiores índices de precipitação são os que apresentam as maiores cotas registradas e os meses com menor precipitação são os meses com menores cotas. Porém, observa-se uma histerese nos meses de novembro e dezembro, a precipitação nesses meses, aumenta e o igarapé permanece vazando, voltando a aumentar a altura da coluna d'água apenas em janeiro.

O cotagrama do igarapé do Mindu difere em alguns aspectos do cotagrama do rio Negro, visto que esse sua cheia entre os meses de dezembro e julho, com pico máximo entre maio e julho (FILIZOLA *et al.*, 2009), enquanto no período de pico o igarapé já está sua vazante. No caso da vazante, no rio Negro, dura quatro meses: agosto, setembro, outubro e novembro (QUEIROZ; TOMAZ NETO, 2019; ALVES, 2013).

Apenas o baixo curso do igarapé do Mindu segue o calendário hidrológico do rio Negro, influenciado por um barramento hidráulico. Queiroz *et al.* (2020) estimaram através da altura da coluna d'água em campo que a influência do rio Negro no igarapé atinge 1,5 km a partir da foz. Porém, observa-

se usando dados de campo e imagens de satélite que essa influência pode atingir até 2,0 km a partir da foz.

O igarapé do Mindu possui uma velocidade média de fluxo de $0,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ enquanto a vazão no igarapé possui uma média de $14,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Durante a vazante a média foi de $10,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e durante a cheia de $18,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, conforme observado no Quadro 2:

Quadro 2: Velocidade Média, Profundidade Média, Largura Vazão dos pontos analisados.

Ponto de Análise	Velocidade Média (m s^{-1})	Profundidade Média (m)	Largura (m)	Vazão ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)	Período Hidrológico
Float1	0,08	3	19,1	4,6	Cheia
	0,1	3,3		6,3	Cheia
	0,5	0,4	10,2	2	Vazante
	0,4	0,7		2,8	Vazante
Float2	2,7	1,5	7,4	30	Cheia
	1,8	0,3		4	Vazante
Float3	0,7	1,7	13,9	16,5	Cheia
	0,4	1,6	11,2	7,1	Vazante
Float4	1,2	1,1	14,7	19,4	Cheia
	0,7	1,3		13,4	Vazante
Float5	2	1,4	19,6	54,9	Cheia
	1,7	1,3		43,3	Vazante
Float6	0,5	0,3	2,4	0,4	Cheia
	0,3	0,2		0,1	Vazante
Média de todos os Pontos	0,9			14,6	

Elaboração: Os autores, 2020.

O ponto de análise Float1 se localiza na foz do igarapé do Mindu, na confluência com o igarapé dos Franceses, formando o igarapé da Cachoeira Grande e não apresenta mudanças significativas no leito ou nas margens. Esse ponto está sobre influência do barramento hidráulico e do regime hidrológico do rio Negro, portanto observam-se durante a cheia do rio Negro as maiores profundidades registradas nas análises (3 e 3,3 metros) e as menores velocidades ($0,08 \text{ m s}^{-1}$ e $0,1 \text{ m s}^{-1}$) indicando a influência do barramento na velocidade de fluxo do canal. Devido à baixa velocidade, apesar da profundidade e largura do canal serem maiores comparadas aos outros pontos, a vazão durante a cheia é de $4,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $6,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e na vazante é de $2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $2,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

O float2 apresenta a maior velocidade média registrada no canal ($2,7 \text{ m s}^{-1}$), isto ocorre devido à presença de um *knickpoint* (figura 5) nas proximidades do ponto, aumentando a declividade local

(STEVAUX; LATRUBESSE, 2017; MORISAWA, 1968). Queiroz (2019; 2020) afirma que o igarapé do Mindu sofreu influência tectônica, devido a feições indicativas como basculamento tectônico da bacia para a sudoeste, lineamentos morfoestruturais e *kickpoints* que indicam modificações na morfologia do canal por ação neotectônica. Observa-se, também, que o float2 não está mais sob efeito do barramento hidráulico do Negro, pois o ponto está localizado a 4,1 km da foz no igarapé. A vazão do ponto durante a cheia do igarapé foi de $30 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e durante a vazante a vazão foi de $4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Figura 5: Kickpoint no igarapé do Mindu, durante a vazante (outubro) do igarapé do Mindu em 2018.

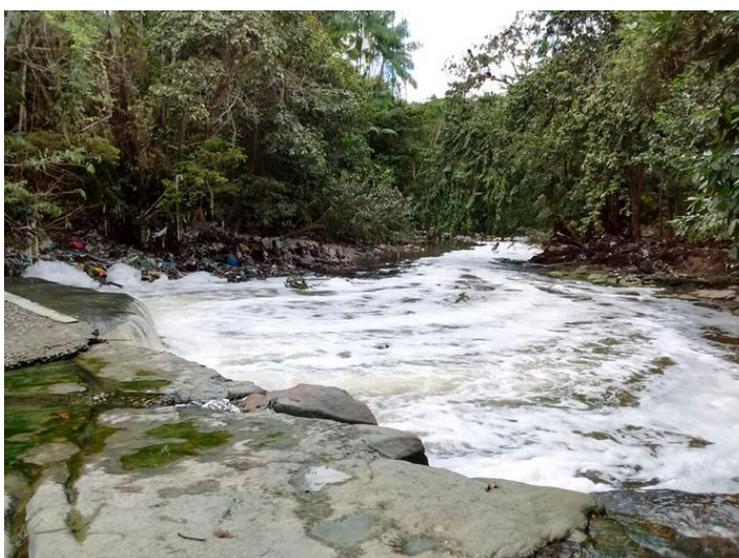


Foto: Os autores, 2018.

O float3 está localizado em uma área preservada dentro do corredor ecológico do Mindu, não sendo influenciado diretamente pela ação antrópica. A vazão nesse ponto foi de $16,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ durante a cheia e $7,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ durante a vazante do igarapé do Mindu. Os pontos 1 e 3 foram os únicos que tiveram variação de largura do espelho d'água, isto pode ocorrer pois estes pontos não tiveram mudanças estruturais no canal.

A medição do float4 foi realizada em uma área preservada próxima da entrada do corredor ecológico, a jusante de uma área de canal retificado, a vazão do ponto durante a cheia foi de $19,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e durante a vazante de $13,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. A localização do ponto indica que durante os eventos de precipitação a velocidade do canal pode aumentar substancialmente, conforme já observado por Queiroz *et al.* (2020).

O float5 foi o ponto com a maior vazão registrada ($54,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), isto ocorre, devido ao fato do canal ter sido retificado, o que aumenta a velocidade de fluxo local do trecho de forma que a água tem menor atrito com as margens (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017; BOTELHO, 2011). A largura do canal nesse trecho (19,6 m) é a maior registrada nos pontos analisados, que foi incrementada artificialmente para aumentar o gradiente do canal, contribuindo para a vazão maior em comparação aos outros pontos.

No ponto float6 canal é submetido a alterações pela ação do processo de dragagem constantemente, havendo alterações tanto na margem quanto no leito, modificando a geometria do canal e alterando a eficiência de drenagem. Porém, a dragagem não é eficiente, de forma que os sedimentos ficam assentados na planície de inundação do igarapé e retornam para o leito com a ação dos ventos e da precipitação (Figura 6), também há acréscimo de sedimentos oriundos da construção civil (areia, seixo) e resíduos domiciliares (plástico, metal) no canal (QUEIROZ, 2019).

Figura 6: Trecho dragado do igarapé do Mindu, ponto float6.



Foto: Os autores, 2018.

Queiroz (2019) observando a dinâmica de velocidade de fluxo do igarapé do Mindu concluiu que o processo de dragagem influencia no volume de água que escoar no canal. Normalmente, a dragagem é realizada por trechos de maneira que há o alargamento de alguns destes, localmente foram observados trechos em que o canal foi alargado para até 15 metros, onde anteriormente o canal natural não ultrapassava 2 metros de largura.

A dragagem ocasionou uma dificuldade no fluxo natural das águas do igarapé. Em algumas áreas próximas ao float6 em trechos do canal que acabará de ser dragado não houve registro de fluxo superficial, indicando que água está sofrendo uma espécie de barramento devido à ação das máquinas. Queiroz (2019) também observou essa hidrodinâmica em outros pontos no alto curso do igarapé do Mindu.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As cotas do igarapé do Mindu apresentam as pico de cheia em março e pico de vazante em dezembro, estas quando comparadas com o regime de precipitação na bacia, mostram que o regime hidrológico do igarapé é influenciado diretamente pelo regime pluviométrico local. Observa-se, também, a influência do regime hidrológico do rio Negro no baixo curso do igarapé do Mindu na bacia. Ou seja, o igarapé do Mindu ao longo do ano é submetido a dois regimes hidrológicos distintos.

A vazão e velocidade do igarapé do Mindu possuem valor médio de $14,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $0,9 \text{ m s}^{-1}$, respectivamente. Porém, esses parâmetros hidrológicos são influenciados por um barramento hidráulico no baixo curso que diminui a velocidade de fluxo. No ponto float2 há a presença de um *knickpoint* que pode indicar influência neotectônica e aumenta a velocidade local de fluxo. Além, das alterações antrópicas no canal que podem aumentar a velocidade de fluxo com as retificações ou diminuir em áreas dragadas. Logo, observa-se que as variáveis que influenciam a hidrologia urbana são múltiplas, necessitando de estudos aprofundados, bem como uma série histórica de dados de vazão para melhor subsidiar as políticas públicas.

REFERÊNCIAS

- ALVES, N.S. **Mapeamento hidromorfodinâmico do complexo de Anavilhanas**: Contribuição aos estudos de Geomorfologia Fluvial de Rios Amazônicos. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. 232p.
- ALVES, N.S.; CARVALHO, B.L.; RODRIGUES, R.C.C.; SANTOS, W.R. Fatores Condicionantes do Risco de Inundações na Bacia Hidrográfica do Igarapé do Mindu, Manaus-AM. **Anais do 11º SINAGEO**, Maringá, 2016.
- BOTELHO, R.G.M. Bacias Hidrográficas Urbanas. In: **Geomorfologia Urbana**. GUERRA, A.J.T. (Org.). Rio de Janeiro: BERTRAND BRASIL, 2011.
- CARVALHO, T.M. Técnicas De Medição De Vazão Por Meios Convencionais E Não Convencionais. **RBGF – Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife-PE Vol. 01 n.01, pp. 73-85, 2008.
- CHARLTON, R. **Fundamentals of Fluvial Geomorphology**. Routledge: London and New York, 2008.
- FILIZOLA, N.; SPINOLA, N.; ARRUDA, W.; SEYLER, F.; CALMANT, S.; SILVA, J. The Rio Negro and Rio Solimões confluence point – hydrometric observations during the 2006/2007 cycle. **River, Coastal and Estuarine Morphodynamics**: RCEM, pp. 1003-1006, 2009.
- FILIZOLA, N.P.; OLIVEIRA, M.B.L. Variabilidade hidrológica multiescala na Amazônia. **Ciência & Ambiente**, 44, pp. 59-70, 2012.
- GAMA, E.B. **Inundações Urbanas E Seus Impactos Na Bacia Hidrográfica Do Igarapé Do Mindu Na Área Da Vila Amazonas, Manaus-AM**. Universidade do Estado do Amazonas – UEA (Trabalho de Conclusão de Curso), Manaus, 2013.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: Junho de 2019.
- MANAUS. **Decreto Nº 8.351 17 de março de 2006**. Cria o parque Municipal Nascentes do Mindu. Disponível em: <http://semmas.manaus.am.gov.br/wp-content/uploads/2010/10/Decreto-8.351-de17-de-mar%C3%A7o-de-2006.pdf>. Acesso em: Julho de 2019b.

MANAUS. **Decreto Nº 8.352 de 17 março de 2006**. Regulamenta dispositivos do plano diretor urbano e ambiental de Manaus referente à Criação de Corredores Ecológicos. Disponível em: <http://semmas.manaus.am.gov.br/wp-content/uploads/2010/10/Decreto-8.351-de-17-de-mar%C3%A7o-de-2006.pdf>. Acesso em: Julho de 2019a.

MANAUS. **LEI Nº 219, DE 11 DE NOVEMBRO DE 1993**. Institui o Conselho Municipal do Meio Ambiente, o Fundo Municipal para o Desenvolvimento e meio Ambiente, o Jardim Botânico de Manaus, as Reservas Ecológicas do Mindu e Tarumã. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/am/m/manaus/lei-ordinaria/1993/21/219/lei-ordinaria-n-219-1993-institui-o-conselho-municipal-do-meio-ambiente-o-fundo-municipal-para-o-desenvolvimento-e-meio-ambiente-o-jardim-botanico-de-manaus-as-reservas-ecologicas-do-mindu-e-taruma-e-da-outras-providencias>. Acesso em: Julho de 2019.

MARINHO, R.R.; SILVA, E.C.M. Análise Morfométrica de Áreas Afetadas por Inundação Urbana em Manaus (AM). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia v. 17, n. 59, p. 162–176, 2016.

MORISAWA, M.E. **Strems: Their dynamics and morphology**. McGraw-Hill Book, New York, 1968.

MOSLEY, M.P.; MCKERCHAR, A.I. Streamflow. In: MAIDMONT, D.R. (Org.). **Handbook of hydrology**. Ney York: McGraw, pp. 8.1-8.39, 1993.

NIEMCZYNOWICZ, J. Urban hydrology and water management – present and future challenges. **Urban Water**, Volume 1, Issue 1, 1999, p. 1-14.

PORTO, R.L.; ZAHED FILHO, K.; TUCCI, C.E.M.; BIDONE, F. Drenagem Urbana. In: TUCCI, C.E.M (Org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2 edição, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 805-848, 2001.

QUEIROZ, M. S.; BATISTA, S. P. M.; TOMAZ NETO, A. G.; ALVES, N.S. Expedição Mindu: Análise Geográfica do Igarapé do Mindu. In: ALBUQUERQUE, C.C; BATISTA, I.H. (Orgs.). **Workshop Internacional Sobre Planejamento e Desenvolvimento Sustentável em Bacias Hidrográficas**. 1ed.Boa Vista: Editora da UFRR, , v. 1, p. 922-930, 2020.

QUEIROZ, M.S. **Caracterização Hidrogeomorfológica da Bacia Hidrográfica do Mindu Manaus – Amazonas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Universidade do Estado do Amazonas – UEA) Manaus, 2019, 185p.

QUEIROZ, M.S. Evidências de Neotectônica na Bacia Hidrográfica do Mindu - Manaus – Amazonas. **Revista Tocantinense de Geografia**, v. 9, n. 18, p. 130-142, 2020.

QUEIROZ, M.S.; ALVES, N.S. Análise Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Mindu – Manaus – Amazonas. **Geopauta**, v. 4, n°. 2, 2020a.

QUEIROZ, M.S.; TOMAZ NETO, A.G. A Influência dos Rios Negro e Solimões nas Comunidades Rurais Ribeirinhas no Município De Iranduba - Amazonas. In: PINHEIRO, L.S; GORAYEB, A. (Orgs.). **Geografia Física e as Mudanças Globais**. 1ed.Fortaleza: Editora UFC, p. 01-12, 2019.

QUEIROZ, M.S; ALVES, N.S. Aplicação de Diferente Fórmulas de Tempo de Concentração para uma Bacia Hidrográfica Urbana. **Revista Tocantinense de Geografia**, v. 9, n. 18, p. 219-231, 2020b.

STEVANUX, J.C; LATRUBESSE, M. E. **Geomorfologia Fluvial**. Oficina de Textos: São Paulo: 2017.

WHITING, P.J. Flow Measurement and Characterization. In: KONDOLF, G.M.; PIÉGAY, H (Orgs.). **Tools in Fluvial Geomorphology**. Wiley, 2003.

YOSHIMOTO, T; SUETSUGI, T. Comprehensive Flood Disaster Prevention Measures In Japan. **Hydrological Processes and Water Management in Urban Areas** (Proceedings of the Duisberg Symposium). IAHS Publ. no. 198, 1990.