

## ANÁLISE DO RISCO DE INUNDAÇÃO NO IGARAPÉ DO MINDU EM MANAUS – AMAZONAS

Flood Risk Analysis In The Mindu Igarapé In Manaus – Amazonas

Análisis Del Riesgo De Inundación En El Igarapé De Mindu En Manaus – Amazonas

Matheus Silveira de Queiroz  
Universidade do Estado do Amazonas – UEA  
[matheussilveiradequeiroz@gmail.com](mailto:matheussilveiradequeiroz@gmail.com)

Neliane de Sousa Alves  
Universidade do Estado do Amazonas – UEA  
[nsalves@uea.edu.br](mailto:nsalves@uea.edu.br)

Selma Paula Maciel Batista  
Universidade do Estado do Amazonas – UEA  
[sbatista@uea.edu.br](mailto:sbatista@uea.edu.br)

### Resumo

O objetivo deste trabalho é analisar os principais fatores causadores de risco de inundação no igarapé do Mindu localizado área urbana da cidade de Manaus. Para isso foram realizados trabalhos de campo entre os anos de 2017 e 2019 e ao longo dos 18,2 km de extensão do igarapé foram analisados parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica, dados de precipitação, cotas limnimétricas e fatores antrópicos. Os parâmetros morfométricos analisados indicam que os riscos à inundação são baixos na bacia do igarapé do Mindu e apenas a densidade de drenagem pode promover a ocorrência de inundações. Estas inundações estão associadas principalmente às alterações antrópicas e a ocupação do solo na bacia. Observa-se que entre os anos de 1992 e 2018 houve um aumento significativo do desflorestamento e da aglomeração urbana, ocasionando uma maior concentração urbana na alta bacia e maior concentração de vegetação na média bacia. As mudanças de engenharia no canal, principalmente retificações, e o processo de dragagem se mostram ineficientes para o controle de inundações. As inundações são mais propícias a acontecer nos meses de novembro a abril, período em que as maiores precipitações na bacia ocorrem e o igarapé está no seu processo de enchente.

**Palavras-Chave:** Morfometria do Canal; Riscos; Desastres; Inundação.

### Abstract

The purpose of this work is to analyze the main factors causing flood risk in the Mindu Igarapé located in the urban area of Manaus City. For this, fieldwork was carried out between 2017 and 2019 and along the 18.2 km of extension of the Igarapé, morphometric parameters of the hydrographic basin, precipitation data, river quota and anthropic factors were analyzed. The morphometric parameters analyzed indicate that the risks to flood are low in the basin of the Mindu Igarapé and only the drainage density can promote the occurrence of floods. The floods in the Mindu Igarapé are mainly associated with anthropic alterations and soil occupation in the basin. It's observed that between the years of 1992 and 2018 there was a significant increase in deforestation and urban agglomeration, with a higher urban concentration in the upper basin, and higher concentration of vegetation in the middle basin.

The engineering changes in the channel, mainly adjustments, and the dredging process prove to be inefficient for flood control. Floods are more conduits to take place in the months of November to April, period that has the largest precipitations occur in the basin and the Igarapé is in its flood process.

**Key words:** Channel Morphometry; Risks; Disasters; Floods.

### **Resumen**

El objetivo de este trabajo fue analizar los principales factores que causan riesgos de inundaciones en el Igarapé de Mindu en la zona urbana de la ciudad de Manaus. Para ello, el trabajo de campo se llevó a cabo entre los años 2017 y 2019 a lo largo de los 18,2 km de extensión del Igarapé, analizando los parámetros morfométricos de canal de la cuenca, datos de precipitación, cuotas fluviales y factores antrópicos. Los parámetros morfométricos analizados indican que los riesgos de inundación son bajos en la cuenca de Mindu y sólo la densidad de drenaje puede promover la ocurrencia de inundaciones. Las inundaciones en el Mindu se asocian principalmente con alteraciones humanas y la ocupación del suelo en la cuenca. Se observa que entre los años 1992 y 2018 se ha producido un aumento significativo de la deforestación y la aglomeración urbana, con una mayor concentración urbana en la cuenca superior, y una mayor concentración de vegetación en la cuenca media. Los cambios de ingeniería en el canal, principalmente ajustes, y el proceso de dragado resultan ineficientes para el control de inundaciones. Las inundaciones son más conductos que se producen entre los meses de noviembre hasta abril, el período en el que se producen las mayores precipitaciones en la cuenca y el Igarapé se encuentra en su proceso de inundación natural.

**Palabras-clave:** Morfometría de canal; Riesgos; Desastres; Inundación.

### **INTRODUÇÃO**

A inundação   um fenómeno causador de grande impacto económico e social em escala global, sendo este o mais frequente dos desastres naturais. A partir de 1950 os eventos registrados no mundo vêm aumentando significativamente e as áreas urbanas são particularmente mais propícias   inundação (JHA, 2012, pp. 17-18). Jongman (2018, p. 01) afirma que devido ao aumento da população nas cidades, as áreas sujeitas à inundação passam a ser densamente ocupadas. Portanto, o aumento na quantidade de casos com perdas sociais e econ micas ocorre devido à ocupação, sem planejamento, das planícies de inundação de rios.

O fator antropog nico impacta os sistemas fluviais há mais de 5.000 anos, em especial na era pré-industrial, os impactos na morfologia dos canais começaram a se intensificar (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017, p. 253). Dawson et al. (2008, p. 275) afirmam que as inundações em áreas urbanas são potencializadas por uma complexa intera o entre processos naturais, engenharia e ocupação, isso ocasiona riscos às populações, e segundo Veyret (2007, p. 12) o risco   uma constru o social, este não existe sem a presenç a humana, quanto maior o aglomerado humano maior a tendência ao risco. Goerl et al. (2012, pp. 92-96) afirmam que o risco   uma rela o entre o perigo (fatores físicos) e a vulnerabilidade (fatores sociais), sendo as populações vulneráveis economicamente e socialmente mais sujeitas ao risco.

O entendimento dos fatores causadores das inundações em áreas urbanas é essencial para a elaboração de políticas públicas eficientes de combate e prevenção de desastres. Portanto, este trabalho tem como objetivo analisar os principais fatores causadores da inundação em um rio de uma área urbana.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de Estudo

O igarapé do Mindu, principal rio da bacia hidrográfica do Mindu (Figura 1), está localizado 100% na área urbana da cidade de Manaus, metrópole com população estimada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2018) em 2.145.444 habitantes, localizada nas proximidades da confluência dos rios Negro e Solimões, formando o encontro das águas. O igarapé possui 18,2 quilômetros de extensão e a bacia hidrográfica do Mindu possui uma área estimada em 66 km<sup>2</sup>.

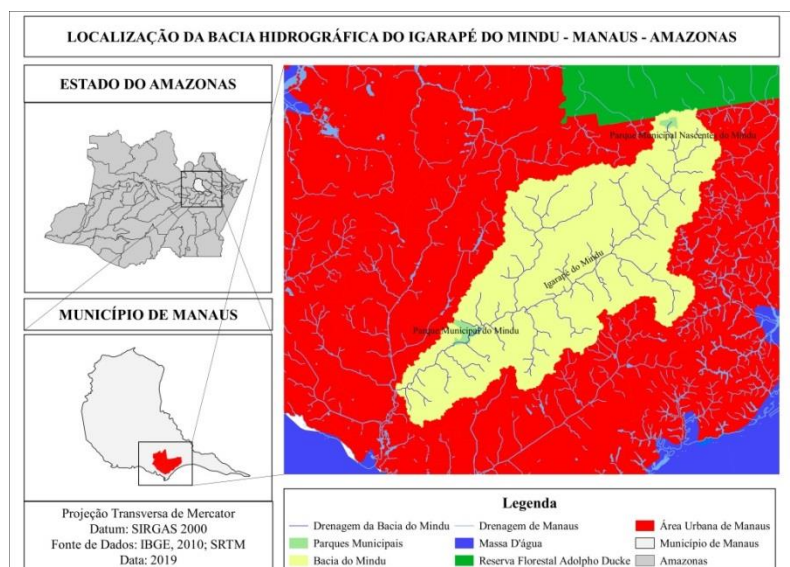


Figura 1: Localização da Bacia Hidrográfica do Igarapé do Mindu. Elaboração: Os autores, 2019.

A bacia hidrográfica contempla em sua área dois parques municipais e um corredor ecológico: o Parque Municipal do Mindu, Unidade de Conservação (UC) de Proteção Integral, instituída pela Lei n° 219 de 11 de novembro de 1993, localizado na bacia do Médio Mindu; o Parque Municipal Nascentes do Mindu, também uma UC de Proteção Integral, instituída pelo Decreto n° 8.351 de 17 de março de 2006, que tem como objetivo proteger as nascentes do igarapé localizadas na bacia do Alto Mindu, e o Corredor Ecológico do Mindu localizado no Médio Mindu, instituído pelo Decreto n° 8.352 de 17 de março de 2006.

## **Pesquisas Bibliográficas, Trabalhos de Campo e Parâmetros Analisados**

A pesquisa foi fundamentada na literatura disponível e em trabalhos de campo, num total de 19, realizados entre os anos de 2017 e 2019 ao longo de todo o igarapé, nos períodos de enchente (novembro a julho) e vazante (agosto a novembro) do rio Negro (FILIZOLA et al., 2009, pp. 1003-1004).

Na análise morfométrica foram considerados os parâmetros que influenciam nos processos de inundação na bacia, são eles: Coeficiente de Compacidade ( $K_c$ ); Fator de Forma ( $K_f$ ); Índice de Circularidade ( $I_c$ ); Relação de Bifurcação ( $R_b$ ); Densidade de Drenagem ( $D_a$ ); Índice de Sinuosidade ( $I_s$ ) e Tempo de Concentração na Bacia ( $T_c$ ) (Quadro 1).

Na análise do relevo foi obtida a Declividade Média do Canal Principal em  $m\ m^{-1}$  ( $S$ ) e a declividade da bacia, e os resultados foram comparados e agrupados de acordo com a classificação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2006), que classifica as formas de relevo em seis classes de acordo com a declividade em porcentagem: plano (0-3), suave ondulado (3-8), ondulado (8-20), forte ondulado (20-45), montanhoso (45-75) e escarpado (75-).

Para a análise pluviométrica foram levantados as Médias Mensais de Precipitação a partir de dados da Estação Pluviométrica de Manaus (14990000) no período de 1970 a 2018, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (<http://www.inmet.gov.br/>).

A análise hidrológica foi realizada a partir dos dados disponibilizados na estação fluviométrica do igarapé do Mindu (14970000) para o período de 2011 a 2014, onde foram levantadas as Médias Mensais de cota do igarapé. Devido a série histórica ser curta para uma análise mais aprofundada, neste trabalho é apresentado apenas a tendência do regime hidrológico do igarapé a partir de dados disponibilizados por Filizola e Oliveira (2012, p. 70) e a Agência Nacional de Águas – ANA (<http://www.ana.gov.br/>).

A evolução da aglomeração urbana na bacia entre os anos de 1992 e 2018 e as mudanças antrópicas na morfologia canal foram levantadas por meio de imagens dos satélites *Landsat* Sensor TM 5, 7 e 8 (Quadro 1), disponibilizadas pelo *United States Geological Survey – USGS* (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) e trabalhadas no *software* *Quantum-GIS* 3.4.2 através do complemento *Classification Tool*. O critério utilizado na escolha das datas das imagens foi a ausência de nuvens, pois a presença destas dificulta a interpretação dos dados.

Para efeitos deste estudo a bacia hidrográfica foi subdividida em 03 sub- bacias: Alto, Médio e Baixo Mindu. Na identificação das áreas com maior risco de inundação foi observado em

campo a distância que a água atinge após eventos pluviométricos extremos e consultadas pesquisas voltadas a inundações na bacia.

Quadro 1: Parâmetros analisados na pesquisa

Parâmetros Analisados	Equação	Fonte
<b>Naturais</b>		
Coefficiente de Compacidade	$k_c = 0,28P_dA_d^{0,5}$	Stevaux e Latrubesse, 2017
Fator de Forma	$K_f = L_m/C$	Stevaux e Latrubesse, 2017
Índice de Circularidade	$I_c = 12,57A_d/P_d^2$	Cardoso et al., 2006
Ordenamento Fluvial	x	Strahler, 1952
Relação de Bifurcação	$R_b = N_u/N_{u+1}$	Horton, 1945
Densidade de Drenagem	$D_d = \sum c/A_d$	Horton, 1932
Índice de Sinuosidade	$I_s = C_c/E_v$	Schum, 1963
Tempo de Concentração na Bacia	$T_c = 0,088L^{0,667}S^{-0,333}$	Silveira, 2005*
Declividade Média do Canal Principal	$S = \left( \frac{\sum L_i}{\sum \left( \frac{L_i}{\sqrt{D_i}} \right)} \right)^2$	Villela e Matos, 1975
Declividade da Bacia	x	EMBRAPA, 2006
Precipitação	x	INMET
Cotas Limnimétricas	x	ANA; Filizola e Oliveira, 2012
<b>Antrópicos</b>		
Urbanização	x	Imagem de Satélite; Trabalho de Campo
Alterações no Canal	x	Imagem de Satélite; Trabalho de Campo

$K_c$  = Coeficiente de Compacidade       $N_{u+1}$  = Número de Segmentos de Determinada Ordem superior  
 $P_d$  = Perímetro da Bacia       $D_d$  = Densidade de Drenagem  
 $A_d$  = Área da Bacia       $I_s$  = Índice de Sinuosidade  
 $K_f$  = Fator de Forma       $H$  = Diferença de desnível na bacia (m)  
 $L_m$  = Largura Média da Bacia       $C_c$  = Comprimento real do canal  
 $C$  = Comprimento total dos canais da Bacia       $E_v$  = Distância em linha reta da nascente à foz  
 $I_c$  = Índice de Circularidade       $T_c$  = Tempo de Concentração na Bacia

$R_b$  = Relação de Bifurcação       $L$  = Comprimento do Talvegue (km)  
 $N_u$  = Número de Segmentos de Determinada Ordem       $S$  = Declividade média do Canal Principal  
 $L_i$  = Distância em cada trecho considerado (m)       $D_i$  = Declividade em cada trecho considerado ( $m\ m^{-1}$ )  
 \*Optou-se pela equação de Picking, pois pode ser usada em bacias urbanas (SILVEIRA, 2005).  
 Elaboração: Os autores, 2019.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Difícilmente os riscos de inundação em áreas urbanas ocorrem por um único fator, mas por um conjunto de fatores que em consonância potencializam o risco à inundação no mosaico urbano (DAWSON et al., 2008, p. 275). Os parâmetros naturais da bacia hidrográfica do Mindu indicam que esta não possui tendência natural à inundação (Quadro 2).

Quadro 2 – Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica do Mindu

Parâmetro	Resultado
Área da Bacia	66 km <sup>2</sup>
Perímetro da Bacia	44 km
Coefficiente de Compacidade	1,5
Índice de Circularidade	0,43
Fator de Forma	0,3
Relação de Bifurcação	6
Índice de Sinuosidade	1,1
Tempo de Concentração na Bacia	5,9 h
Número de Canais de Primeira Ordem	37
Número de Canais de Segunda Ordem	5
Número de Canais de Terceira Ordem	1
Densidade de Drenagem	1,3 km km <sup>2</sup>
Declividade Média do Canal Principal	1,0 m km <sup>-1</sup>

Elaboração: Os autores, 2019.

O Coeficiente de Compacidade ( $K_c$ ) e o Índice de Circularidade ( $I_c$ ) são parâmetros que indicam a circularidade da bacia. Em bacias circulares a água advinda da rede de drenagem tende a chegar ao canal principal simultaneamente, aumentando sua susceptibilidade à inundação (CARDOSO et al., 2006, pp. 243-244). No caso específico da bacia do Mindu os valores obtidos indicam um Índice de Circularidade ( $I_c$ ) de 0,43, considerado baixo, e um Coeficiente de Compacidade ( $K_c$ ) de 1,5. De acordo com Stevaux e Latrubesse (2017, p. 88), o valor precisa ser o mais próximo possível de 1 para que bacia seja considerada circular, o que não se observa no caso da bacia hidrográfica do Mindu. Outro parâmetro referente à

forma da bacia é o Fator de Forma ( $K_f$ ), este afirma que quanto menor for o valor, mais alongada será a bacia e menor a susceptibilidade à inundação (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017, p. 88). O Fator de Forma ( $K_f$ ) da bacia do Mindu é de 0,3 o que indica que a bacia possui uma forma alongada.

Strahler (1964 apud STEVAUX; LATRUBESSE, 2017, pp. 88-89) afirma que a Relação de Bifurcação ( $R_b$ ) tem relação inversa com a magnitude de cheia, quanto menor for a relação de bifurcação maior a magnitude de cheia e no caso da bacia do Mindu o valor da relação de bifurcação ( $R_b$ ) é de 6 representando uma magnitude de cheia mediana. O índice de sinuosidade ( $I_s$ ) do igarapé do Mindu é de 1,1 que o define como um canal retilíneo (SCHUM, 1963, p. 1091), dessa forma o fluxo permanece menos tempo no canal, indicando uma susceptibilidade menor à inundação. É importante frisar que, em alguns trechos, o igarapé foi retificando e teve sua morfologia natural do canal alterada, diminuindo o tempo de permanência da água no canal.

O Tempo de Concentração ( $T_c$ ) de uma bacia também sofre influência da forma, quanto mais alongada for uma bacia maior o tempo de concentração e menor a susceptibilidade à inundação, pois a água demorar-se-á mais para chegar ao canal principal (CAJAZEIRO, 2012, p. 51). A bacia do Mindu possui forma alongada, portanto o tempo de concentração na bacia é maior totalizando 5,9 horas. A equação de Picking utiliza como parâmetros principais de análise o comprimento do canal principal e a declividade (Figura 2), portanto considera-se o valor obtido apenas uma estimativa do Tempo de Concentração na Bacia.

O número de canais e a ordem da bacia tem relação direta com a densidade de drenagem. A bacia do Mindu é de terceira ordem, com 37 canais de primeira ordem, cinco de segunda ordem e um de terceira ordem, e a mesma é bem drenada com uma Densidade de Drenagem ( $D_d$ ) de 1,3 km km<sup>2</sup>, sendo esse parâmetro responsável por controlar a eficiência do escoamento (STEVAUX, LATRUBESSE, 2017, p. 66).



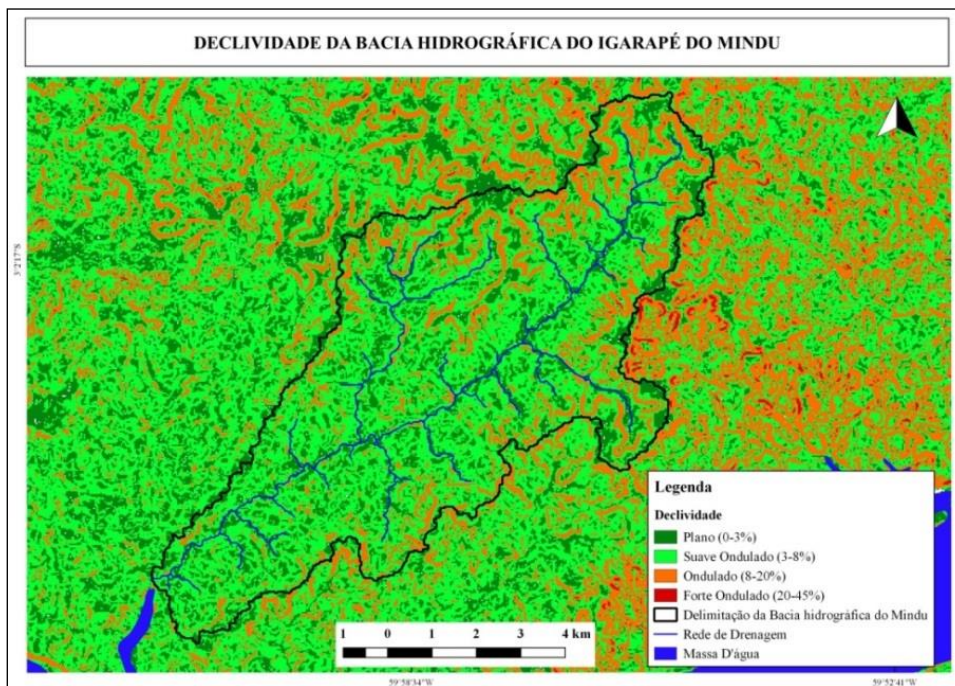


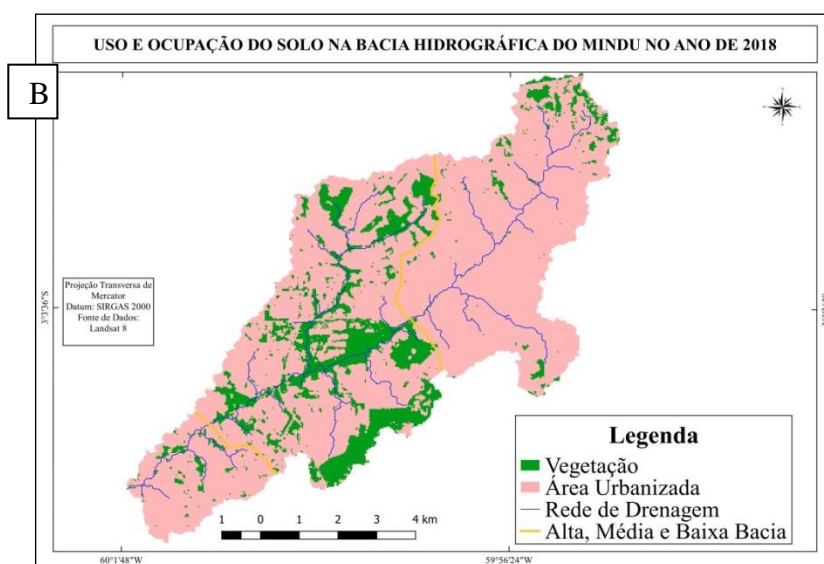
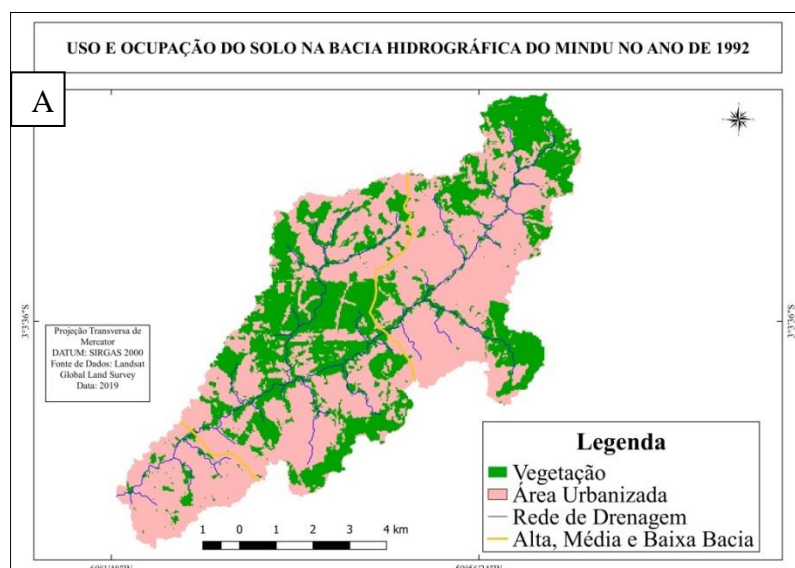
Figura 2: Declividade da bacia hidrográfica do Mindu. Elaboração: Os autores, 2019.

Tonello et al. (2006) e Lorezon et al. (2015) afirmam que em terrenos com declividades maiores o escoamento superficial tende a chegar ao canal principal mais rápido, aumentando a susceptibilidade à inundação. A maior parte da rede hidrográfica da bacia do Mindu possui declividade plana e suave ondulada. O igarapé do Mindu apresenta uma declividade média ( $S$ ) de  $1,0 \text{ m km}^{-1}$ , indicando um terreno quase plano na extensão do curso d'água, contribuindo para o alto tempo de concentração da água na bacia. Os terrenos ondulado e forte ondulado encontram-se, predominantemente, na bacia do Alto Mindu, e podem contribuir para a ocorrência de inundação naquela região.

A vazão de pico nos canais urbanos pode aumentar devido à retirada da sua mata ciliar e o aumento das áreas impermeabilizadas devido à urbanização (WOHL et al., 2012, p. 658; YOSHIMOTO e SUETSUGI, 1990, p. 177).

A bacia hidrográfica do Mindu apresentava em 1992 uma cobertura vegetal de  $24,452 \text{ km}^2$  o equivalente a 37,1% dos  $66 \text{ km}^2$  de sua área e, de área urbanizada,  $41,548 \text{ km}^2$  o equivalente a 62,9 % do total da bacia (Figura 3a). Em 2018 foi observada uma redução da cobertura vegetal para  $11,252 \text{ km}^2$ , ou 17,5 % do total, e uma área urbanizada de  $54,435 \text{ km}^2$ , representando 82,5 %. De 1992 a 2018 houve uma diminuição de 19,6 % da cobertura vegetal na bacia, equivalente a  $13,2 \text{ km}^2$ . Parte da cobertura vegetal preservada em 2018 está localizada no trecho da média bacia devido a presença do Parque Municipal do Mindu e do Corredor Ecológico (Figura 3b).





3 a: Uso do solo no ano de 1992. 3 b: Uso do solo no ano de 2018. Elaboração: Os autores, 2019.

Botelho (2011, p. 94) explica que as alterações estruturais intensivas, obras de engenharia, como a canalização, retificação, desvio do canal, disques, *polders*, bacias de amortecimento, a médio e longo prazo, são pouco eficientes e buscam apenas minimizar os efeitos das inundações (Figura 4).

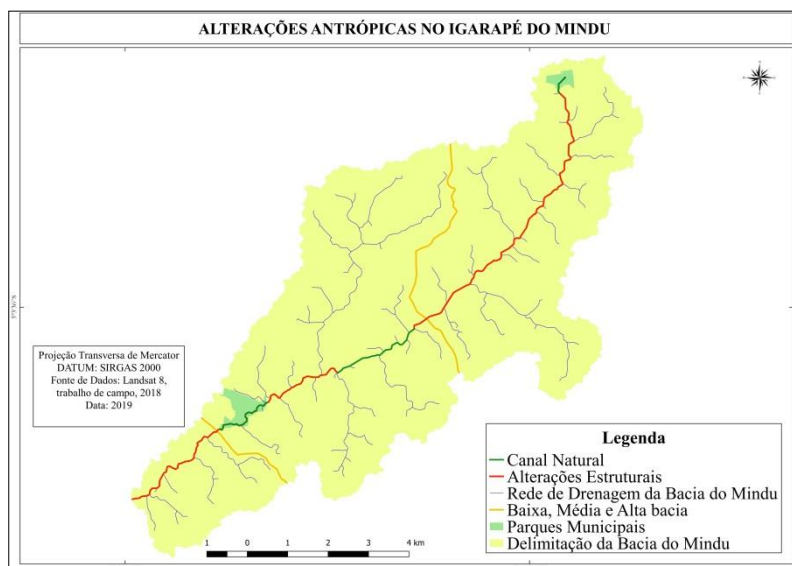


Figura 4: Alterações antrópicas na morfologia do igarapé do Mindu. Elaboração: Os autores, 2019.

Quanto a alterações na morfologia do canal, apenas 4,1 km da extensão do igarapé não sofreu alterações antrópicas, representando 22,5% dos 18,2 km de extensão. Esse percentual está em sua maioria na média bacia, o restante do canal sofreu alterações estruturais como retificações (Figura 5a) que aumentaram o gradiente do canal, a velocidade e a capacidade do fluxo (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017, p. 263).

Na alta bacia, durante o período da vazante, o igarapé é dragado (Figura 5b) para retirada de sedimentos do leito e das margens promovendo o aumento do escoamento do fluxo de cheia, e nos seus trechos médio e baixo foram instaladas contenções para evitar erosão (Figura 5c). Tais alterações se mostraram ineficazes para conter as inundações no igarapé.



Figura 5 a: Retificação do canal, médio curso do igarapé do Mindu. Figura 5 b: Igarapé após o processo de dragagem, nota-se a máquina ao fundo da imagem. Figura 5 c: Contenção (Regionalmente chamado de *Rip-Rap*) para mitigar os efeitos da erosão fluvial, Baixo curso do igarapé do Mindu. Fotos: Os autores, 2018.

Para Brádzil e Kundzewicz (2006, p. 733-734) entender o regime hidrológico de um rio é essencial para compreender os processos que atuam no canal fluvial. O período de enchente no igarapé do Mindu começa no mês de novembro e finaliza em abril, com o pico de cheia no mês de março, sendo a cota média nos quatro anos analisados de 110,5 cm, porém em fevereiro de 2011 foi registrada a maior cota média mensal de 121 cm. A vazante se inicia no mês de maio, e o igarapé para de vazar no mês de outubro. O pico de vazante ocorre no mês de agosto com uma cota média mensal de 87,2 cm (Figura 6).

O cotograma do igarapé do Mindu difere em alguns aspectos do cotograma do rio Negro, visto que esse tem pico máximo de enchente nos meses de maio a julho (FILIZOLA et al., 2009, pp. 1003-1004), enquanto nesse período o igarapé está na sua vazante. O período de enchente do rio Negro dura em média oito meses do calendário romano, enquanto o igarapé do Mindu possui seis meses de enchente. No caso da vazante, no rio Negro esta dura quatro meses e, no caso do igarapé, seis meses. Apenas a baixa bacia do Mindu segue o calendário hidrológico do rio negro, nesta área o mesmo sofre influência direta das águas do rio Negro. Estima-se que esta influência atinja 1,5 km a partir da foz do Mindu para montante.

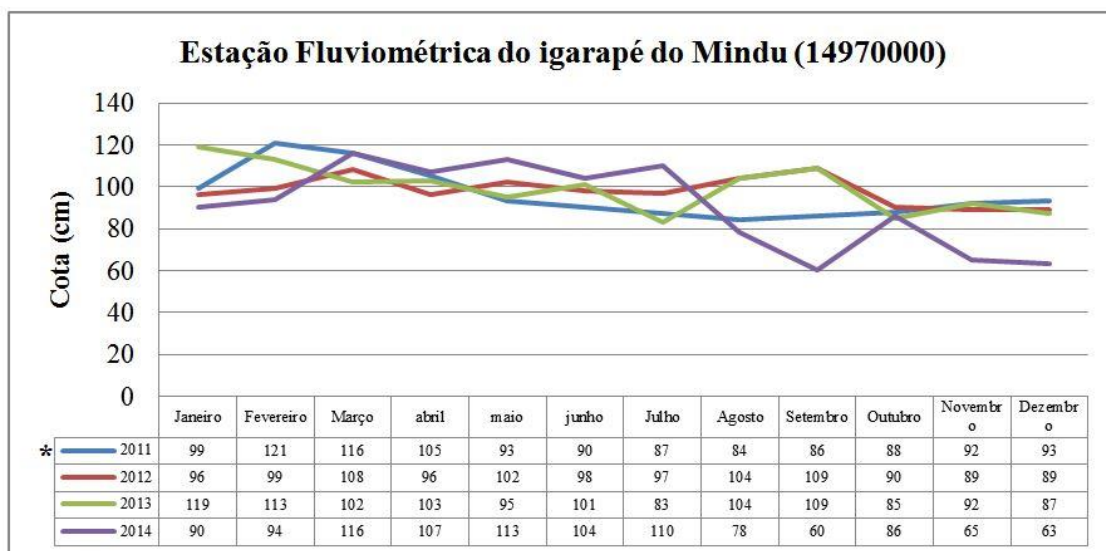


Figura 6: Cotas Limnimétricas Médias Mensais do igarapé do Mindu. Fonte: ANA; \*Filizola e Oliveira (2012). Elaboração: Os autores, 2019.

Os dados de precipitação na série histórica avaliada (Figura 7) possuem uma média anual de  $1952 \text{ mm}^{-1}$ . Os quatro primeiros meses do ano apresentam o maior volume de chuvas na estação de Manaus, atingindo o maior valor,  $335 \text{ mm.mês}^{-1}$ , no mês de março. De maio a agosto o volume precipitado é menor, e volta a crescer nos meses de novembro e dezembro.

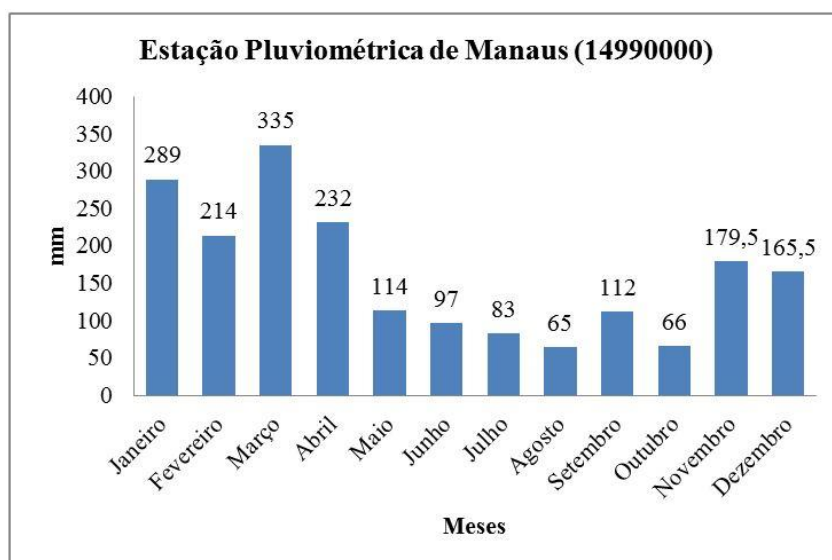


Figura 7: Precipitação média na estação de Manaus entre os anos de 1970 e 2018. Fonte: INMET. Elaboração: Os autores, 2019.

Filizola e Oliveira (2012, p. 69) observaram uma variância nas cotas limnimétricas mensais do igarapé do Mindu devido à influência da precipitação, que também apresentam oscilações locais em caso de chuvas extremas. Na bacia do baixo Mindu volumes precipitados maiores que  $40 \text{ mm}$  causam inundações com danos sociais e econômicos (GAMA, 2013, p. 59). No



alto e médio curso, volumes precipitados em torno de 25 mm (Figuras 8 a, b) já promovem inundações.



Figura 8 a: Condição do alto curso do igarapé após precipitação de 25 mm, dia 03/02/2018. Figura 8 b: Mesmo local após o volume precipitado atingir 40,2 mm no dia 03/02/2018, alta bacia. As setas indicam a direção do fluxo e a localização leito do igarapé. Dados da estação de Manaus (INMET). Fotos: Os autores, 2018.

Segundo Alves et al. (2016, p. 02) na bacia do Baixo Mindu estão localizados empreendimentos de alto poder aquisitivo que possuem elevada capacidade de suporte em caso de inundações, enquanto nas bacias do Alto e Médio Mindu estão as populações de maior vulnerabilidade social e espacial (Figuras 9 a, b, c, d). Marinho e Silva (2016, p. 7) analisando as ocorrências atendidas pela Defesa Civil de Manaus afirmam que a maior parte dos casos de inundação registrados estão na bacia do Alto Mindu.

Os tipos de habitações que predominam nas bacias do Alto e parte do Médio Mindu são construções de madeira e palafitas, construídas sobre estacas para evitar alagamentos durante a cheia dos rios (QUEIROZ et al., 2018, p. 114), e não possuem estrutura para suportar os efeitos das inundações.





Figura 9 a, b, c: Habitações em más condições de infraestrutura às margens do igarapé do Mindu, alta bacia. Figura 9 d: Palafitas na planície de inundação do igarapé, média bacia. Fotos: Os autores, 2018.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As condições naturais do igarapé do Mindu, analisadas a partir dos parâmetros morfométricos selecionados indicam que os riscos à inundação na bacia hidrográfica são baixos. As inundações no igarapé do Mindu ocorrem, principalmente, devido às alterações antrópicas no curso d'água, uso do solo na bacia. Observa-se que entre os anos de 1992 e 2018 houve um aumento significativo do desflorestamento e da aglomeração urbana, aumentando a impermeabilização do solo e, conseqüentemente, a eficiência do escoamento superficial. A maior concentração urbana ocorre na bacia do Alto Mindu, justamente onde observa-se os maiores riscos à inundação, enquanto a maior concentração de cobertura vegetal é observada na bacia do Médio Mindu. As mudanças de engenharia no canal, principalmente retificações e o processo de dragagem se mostram ineficientes para o controle de inundações na bacia hidrográfica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- BRÁZDIL, R.; KUNDZEWICZ, Z.W. Historical hydrology—Editorial. *Hydrological Sciences Journal*, 51:5, 2006, pp. 733-738.
- CAJAZEIRO, J.M.D. **Análise Da Susceptibilidade À Formação De Inundações Nas Bacias E Áreas De Contribuição Do Ribeirão Arrudas E Córrego Da Onça Em Termos De Índices Morfométricos E Impermeabilização**. Dissertação apresentada ao Programa de



Pós-Graduação do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2012.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n.2, p. 241-248, 2006.

DAWSON, R.J; SPEIGHT, L; HALL, J.W; DJORDJEVIC, S; SAVIC, D; LEANDRO, J. Attribution of flood risk in urban areas. **Journal of Hydroinformatics**, 10 (4): 275-288, 2008.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006.

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.

GOERL, R.F.; KOBIYAMA, M.; PELLERIN, J.R.G.M. PROPOSTA METODOLÓGICA PARA MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO A INUNDAÇÃO: ESTUDO DE CASO DO MUNICÍPIO DE RIO NEGRINHO – SC. **Bol. geogr., Maringá**, v. 30, n. 1, p. 81-100, 2012.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geol. Soc. America Bulletin**, pp. 275-370, 1945.

HORTON, R.E. Drainage basin characteristics. **Transition of the America Geophysical Union**, n 13, pp. 350 – 361, 1932.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **IBGE Cidades**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: Junho de 2019.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **IBGE Cidades**. 2018. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 21/09/2019.

JHA, A.K; BLOCH, R; LAMOND, J. **Cities and Flooding** : A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century. World Bank, 2012.

JONGMAN, B. Effective adaptation to rising flood risk. **Nature Communications**, 9:1986, 2018.

LOREZON, A.S; FRAGA, M.S; MOREIRA, A.R; ULIANA, E.M; SILVA, D.D; RIBEIRO, C.A.A.S; BORGES, A.C. Influência das características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Benevente nas enchentes no município de Alfredo Chaves-ES. **Rev. Ambient. Água** vol. 10 n. 1 Taubaté, pp. 195-206 2015.

ANAUS. **Decreto N° 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 2019

MANAUS. **Decreto N° 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 2019.

MANAUS. **LEI N° 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, pp. 162–176, 2016.

PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. D. S.; SILVA, D. D. D. **Escoamento superficial**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2004. 87 p.

QUEIROZ, M.S; SOARES, A.P.A; TOMAZ NETO, A.G. Comunidades rurais ribeirinhas e as águas do rio Solimões no município de Iranduba – Amazonas. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.4, n.1.108-119, 2018.

SCHUMM, S.A. A sinuosity of alluvial rivers on the great plains. **Geol.Soc. America Bull.** 74 (9), pp.1089-1100. 1963.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. **Relatório da Cheia 2012**. SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE MANAUS / SUREG-MA, 2012.

SILVEIRA, A.L.L. Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Volume 10, n.1, pp. 05-23, 2005.

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

STRAHLER, A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **American Geophysics Union Transactions**, n 38, pp. 913-920, 1952.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães – MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 849-857, 2006.

VEYRET, Y. **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente**. São Paulo. Contexto, 2007. 319 p.

VILLELA, S. M; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

WOHL, E.; BARROS, A.; BRUNSELL, N.; CHAPPEL, N.A.; COE, M.; GIAMBELLUCA, T.; GOLDSMITH, S.; HARMON, R.; HENDRICKX, J.M.H.; JUVIK, J.; MCDONNELL, J.; OGDEN, F. The hydrology of the humid tropics. **Nature Climate Change**, vol. 2, pp. 655-672, 2012.

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.