

## **XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**

### **MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCOS AMBIENTAIS NO ALTO CURSO DA BACIA DO MINDU – MANAUS/ AM, PARA A GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS**

*Antônio Moraes Júnior<sup>1</sup>; Samara Aquino Maia<sup>2</sup>; Angelica Rodrigues Rocha<sup>3</sup>; Matheus de Vasconcelos Lima Leitão<sup>4</sup>; Carlossandro Carvalho de Albuquerque<sup>5</sup>; Thiago Flores dos Santos<sup>6</sup>; Maycon Douglas Oliveira Castro<sup>7</sup>; Joacir Moraes<sup>8</sup>; Flavio Wachholz<sup>9</sup>*

**Abstract:** This scientific article examines the problem of environmental risks in urban areas, with a special focus on landslides and floods. The central point is how the disorderly growth of cities, without proper planning, intensifies these phenomena. In this context, the research focuses on mapping risk areas in the upper course of the Mindu basin, in the municipality of Manaus/AM, aiming to identify points of susceptibility to landslides and floods. The methodology used is bibliographic and documentary research, with the analysis of secondary data contained in technical reports and other academic publications. This research has a qualitative and exploratory character, with emphasis on the territorial and environmental analysis of the upper course of the Mindu river basin, located in the municipality of Manaus/AM. As a result, it was found that the disorderly urban expansion in the municipality of Manaus/AM has generated environmental risks of landslides and floods, and work must be carried out to provide greater detail on the environmental conditions in the risk areas and develop contingency plans aimed at safeguarding all interests related to the protection of environmental conditions in the Mindu river basin.

**Keywords:** Mindu river basin; Mapping of environmental risk areas; Management and regulation of water resources.

**Resumo:** Examina-se por meio do presente artigo científico a problemática dos riscos ambientais em áreas urbanas, com foco especial em deslizamentos e inundações. O ponto central é como o crescimento desordenado das cidades, sem o devido planejamento, intensifica esses fenômenos. Nesse contexto, a pesquisa concentra-se no mapeamento de áreas de risco na porção do alto curso da bacia do Mindu, no município de Manaus/AM, visando identificar pontos de suscetibilidade a deslizamento e mapear áreas de inundação. A metodologia utilizada é a pesquisa bibliográfica e documental, com a análise de dados secundários contidos em relatórios técnicos e outras publicações acadêmicas. A presente pesquisa possui caráter qualitativo e exploratório, com ênfase na análise territorial e ambiental da porção do alto curso da bacia hidrográfica do Mindu, localizada no município de Manaus/AM. Como resultado verificou-se que a expansão urbana desordenada no município de Manaus/AM tem gerado riscos ambientais de deslizamentos e inundações, devendo ser realizados trabalhos que possibilitem um maior detalhamento das condições ambientais nas áreas de risco e desenvolvido planos de contingência visando resguardar todos os interesses que se relacionam com a proteção das condições ambientais na bacia hidrográfica do Mindu.

1) Universidade do Estado do Amazonas, Av. Djalma Batista - Chapada, (92) 993605871, amj.mgr24@uea.edu.br

2) Universidade do Estado do Amazonas, Av. Djalma Batista - Chapada, (92) 994522813, sam.mgr21@uea.edu.br

3) Universidade do Estado do Amazonas, Av. Djalma Batista - Chapada, (92) 981308949, angelica.rocha@outlook.com

4) Universidade do Estado do Amazonas, Av. Djalma Batista - Chapada, (92) 992100336, mdleita@uea.edu.br

5) Universidade do Estado do Amazonas, Av. Djalma Batista - Chapada, (92) 981123238, escarvalho@uea.edu.br

6) Centro de Serviços Compartilhados (CSC), Governo do Estado do Amazonas, (92) 991615004, tfs.prh23@uea.edu.br

7) Organização do Tratado de Cooperação Amazônico, Brasília - (92) 985888441, Maycon.castro@otca.org

8) Universidade Federal do Piauí, BR 135, km 3 - Planalto Horizonte, Bom Jesus, (99) 992122694, [morais.joacir@gmail.com](mailto:morais.joacir@gmail.com)

9) Universidade do Estado do Amazonas, Av. Djalma Batista - Chapada, (92) 984445383, [fwachholz@uea.edu.br](mailto:fwachholz@uea.edu.br)

**Palavras-chave:** Bacia hidrográfica do Mindu; Mapeamento de áreas de riscos ambientais; Gestão e regulação de recursos hídricos.

## INTRODUÇÃO

A problemática das áreas de riscos ambientais – aqui referente a deslizamento e inundação – assola a vida urbana das cidades, sobretudo quando o crescimento urbano não é seguido de planejamento adequado conforme as particularidades geológicas-geomorfológicas do local. Esse dito local de ocorrência dos riscos decorre nas bacias hidrográficas urbanas, pois esta é a base das construções físicas da humanidade e dos impactos gerados por esta mesma ao longo dos seus rios (Lemos, 2016).

O termo *deslizamento*, por vezes também denominado *escorregamento*, constitui uma terminologia genérica utilizada para designar movimentos de massa. Há uma variedade de definições e classificações para os movimentos de massa — como corrida, queda, rastejo e o próprio deslizamento — que variam conforme a abordagem científica adotada para o estudo do fenômeno. No caso específico dos deslizamentos, é possível subdividi-los em dois tipos principais: rotacional e translacional. De modo geral, o deslizamento refere-se ao movimento de descida do solo, rochas ou de ambos, impulsionado pela ação da gravidade e pelas características geológicas da área afetada. (Machado, Zacarias 2016; Highland, Bobrowsky 2008; Souza, 2021).

O fenômeno da inundação ocorre quando, durante uma enchente, a vazão – isto é, a quantidade de água que escoar por um trecho do rio – supera a capacidade de escoamento do canal de drenagem, fazendo com que a água transborde para áreas marginais. Quando o nível da água ultrapassa a cota máxima da calha do rio, a enchente evolui para uma inundação (IPT, 2013).

Os riscos sobretudo voltados ao meio ambiente empregam uma conotação negativa, de perigo que pode ou não acontecer, trazendo consequências pequenas ou grandes ao indivíduo ou grupo social, sendo essas áreas um reflexo da interação do social com o natural, vivendo na sua grande maioria em desequilíbrio (Costa, 2012; Dagnino, 2014). Essa percepção de perigo pode acontecer com maior frequência dependendo do local e grupo social envolvido.

Dentro dos dois riscos já mencionados – deslizamento e inundação – a água é determinante para sua ocorrência, através da precipitação, ou seja, o mesmo elemento que garante a manutenção da vida é também responsável por destruição e morte, principalmente com o agravamento das ações antrópicas interferindo na dinâmica e regulamento natural do meio ambiente. A água é elemento vital

à existência e sobrevivência dos seres vivos, regulando todo o ecossistema, como bem aponta Whately e Campanili (2016, p. 7) “a água é elemento essencial para a manutenção dos ciclos biológicos, geológicos e químicos que preservam o equilíbrio dos ecossistemas e permitem a vida de toda as espécies do planeta”.

Manaus apresenta um padrão de crescimento urbano desordenado, semelhante ao verificado em diversas outras cidades brasileiras. Inserida na maior bacia hidrográfica do mundo, a presença da água constitui um elemento marcante na vida urbana do manauara, seja pelos inúmeros rios que permeiam os diferentes bairros da cidade, seja pela elevada taxa pluviométrica que caracteriza a região.

Seguindo esse pensamento Lemos, (2016, p. 64) afirma: “atrelado à expansão da cidade, o risco em Manaus alcançou tamanhas proporções que atualmente há pontos e períodos na cidade onde só é possível a aplicação de medidas emergenciais, seja em uma grande chuva, ou nas cheias dos rios, por exemplo”. Dessa forma, os impactos ao meio ambiente e a sociedade são enormes e precisa ser encontrado formas de impedir ou mesmo reduzir esses riscos.

A abundância de recursos hídricos não elimina a necessidade de uma gestão eficaz da água, muito pelo contrário, o gerenciamento desse recurso é essencial para assegurar tanto a quantidade quanto a qualidade da água, visando atender as necessidades das gerações presentes e futuras. Para ser efetiva, essa gestão deve considerar, de forma integrada, o uso da água e da terra. Sendo que de acordo com a Lei n. 9.433/97 responsável por instituir a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), esta visa como objetivo promover o uso racional e integrado dos recursos hídricos, bem como a prevenção e a mitigação de eventos hidrológicos críticos, sejam eles de origem natural ou resultantes do uso inadequado dos recursos naturais (Taveira, 2018).

## **METODOLOGIA**

A presente pesquisa possui caráter qualitativo e exploratório, com ênfase na análise territorial e ambiental da porção do alto curso da bacia hidrográfica do Mindu, localizada no município de Manaus/AM. O estudo foi desenvolvido através do levantamento de dados secundários seguida de pesquisa bibliográfica e documental, com a análise de relatórios técnicos e outras publicações científicas.

A geração dos mapas de risco e da mancha de inundação foi realizada a partir da integração de diferentes bases de dados e técnicas de geoprocessamento. Inicialmente, foram utilizados os dados do Levantamento de Risco Hidrológico e Geológico, disponibilizados pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB), acessados através da plataforma RiGeo. Esses dados contemplam informações

provenientes de levantamentos de campo, com registros de áreas previamente impactadas por processos de inundação e deslizamentos de terra induzidos por enxurradas.

Para o processamento espacial, foram empregados algoritmos de interpolação no ambiente do software ArcMap, visando a geração de superfícies de risco. Como base altimétrica, utilizou-se o Modelo Digital de Terreno (MDT) fornecido pela Prefeitura Municipal de Manaus, permitindo a identificação de zonas de menor cota altimétrica e a definição de limiares críticos de drenagem. Essa etapa foi fundamental para a delimitação preliminar das áreas suscetíveis a alagamentos e movimentos gravitacionais de massa.

A validação dos resultados ocorreu por meio da análise de registros fotográficos georreferenciados coletados em campo, o que conferiu maior acurácia e representatividade aos mapas produzidos.

Para quantificação as estruturas atingidas como residências e comércios, foram utilizados a biblioteca do Open Buildings V3 disponível no Google Earth Engine (GEE) (figura 1) com uma pequena modificação em seu código. Essas alterações trazem para a visualização central e permite baixar todos os seus polígonos de construções (edifícios, residências e outros tipos de moradias) que estejam dentro da área de influência.

**Figura 1.** Script para importar as estruturas, Plataforma Google Earth Engine

```

1 Imports (1 entry)
2 var geometry: Polygon, 8 vertices
3 //Script para baixar estruturas reconhecidas por rede neural/IA.
4 var buildings = ee.FeatureCollection("GOOGLE/Research/open-buildings/v3/polygons");
5 var fvLayer = ui.Map.FeatureViewLayer(
6   "GOOGLE/Research/open-buildings/v3/polygons_FeatureView");
7 var filteredBuildings = buildings.filterBounds(geometry);
8 var visParams = {
9   rules: [
10    {
11      filter: ee.Filter.expression('confidence >= 0.65 && confidence < 0.7'),
12      color: 'FF0000'
13    },
14    {
15      filter: ee.Filter.expression('confidence >= 0.7 && confidence < 0.75'),
16      color: 'FFFF00'
17    },
18    {
19      filter: ee.Filter.expression('confidence >= 0.75'),
20      color: '00FF00'
21    }
22   ]
23 };
24 fvLayer.setVisParams(visParams);
25 fvLayer.setName('Buildings');
26
27 Map.centerObject(geometry); // Define o Centro do Objeto
28 Map.add(fvLayer);
29 Map.setOptions('SATELLITE');
30
31 Export.table.toDrive({
32   collection: filteredBuildings,
33   description: 'poligonos_buildings',
34   fileFormat: 'KML'
35 });
36

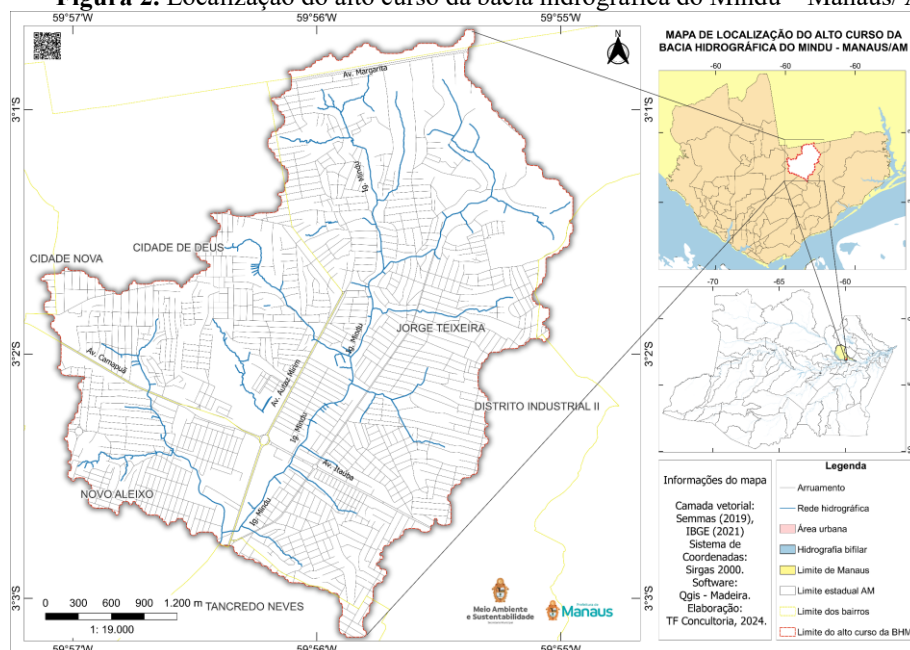
```

Fonte: Google Earth Engine, modificado por Maycon Castro, 2023.

## Caracterização da área

A bacia hidrográfica do Mindu está integralmente situada na área urbana da cidade de Manaus, ao todo a bacia possui 66,02 km<sup>2</sup>, o igarapé principal atravessa quatorze bairros. Nesta pesquisa será abordado o alto curso da bacia hidrográfica (Figura 2), na qual sua área corresponde a 14,35 km<sup>2</sup>. Os bairros da zona leste e norte fazem parte dessa delimitação, sendo o total de cinco bairros: Cidade de Deus, Cidade Nova, Novo Aleixo, Jorge Teixeira e Distrito Industrial II.

**Figura 2.** Localização do alto curso da bacia hidrográfica do Mindu – Manaus/ AM



**Fonte:** TF CONSULTORIA

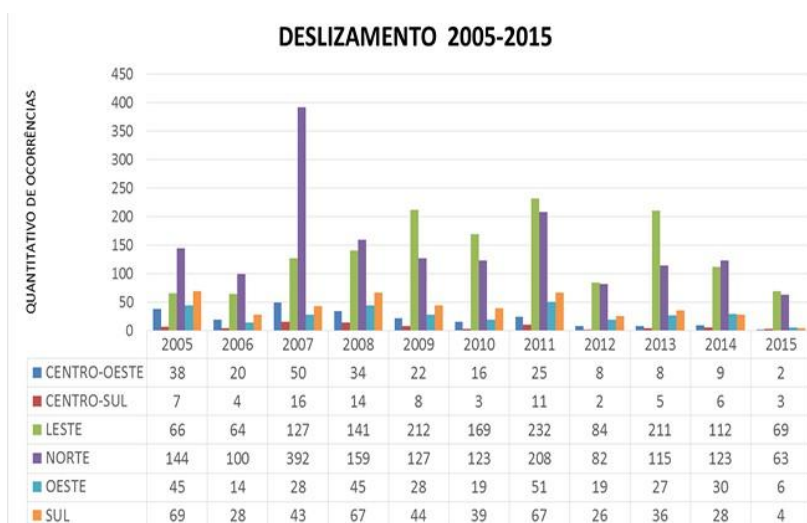
## RESULTADOS

### 1. Deslizamentos

Apontar uma única influência para os eventos de deslizamento, principalmente em área urbanizada seria um erro de raciocínio e uma simplificação de fatores que se interligam ao fenômeno, essa simplificação pode levar a possíveis soluções incorretas para a busca de resolução do problema. “Raramente um deslizamento pode ser associado a um único e definitivo fator condicionante, devendo ser observado como o produto de uma cadeia de fatores e efeitos que acabam determinando sua deflagração” (Brasil, 2007, p. 42). Dentre esses fatores temos o natural e antrópico que interfere no meio ambiente.

No alto curso da Bacia Hidrográfica do Mindu (BHM), esses mesmos fatores — naturais e antrópicos — não fogem à regra, sendo responsáveis pela ocorrência de deslizamentos na área delimitada. Segundo dados apresentados na pesquisa de Lemos (2016), com base em informações da Secretaria Executiva de Proteção e Defesa Civil (SEPDEC) referentes ao período de 2005 a 2015, as zonas norte e leste concentraram 74% das ocorrências de deslizamentos na cidade de Manaus ao longo dos 11 anos analisados. A figura 3 apresenta o quantitativo de deslizamentos registrados ao longo dos anos analisados, evidenciando uma disparidade significativa entre as zonas da cidade. Observa-se que as zonas centro-oeste, centro-sul, oeste e sul registraram números consideravelmente inferiores quando comparadas aos elevados índices de deslizamentos verificados nas zonas leste e norte.

**Figura 3.** Quantitativo de deslizamento por zona da cidade de Manaus (2005-2015)

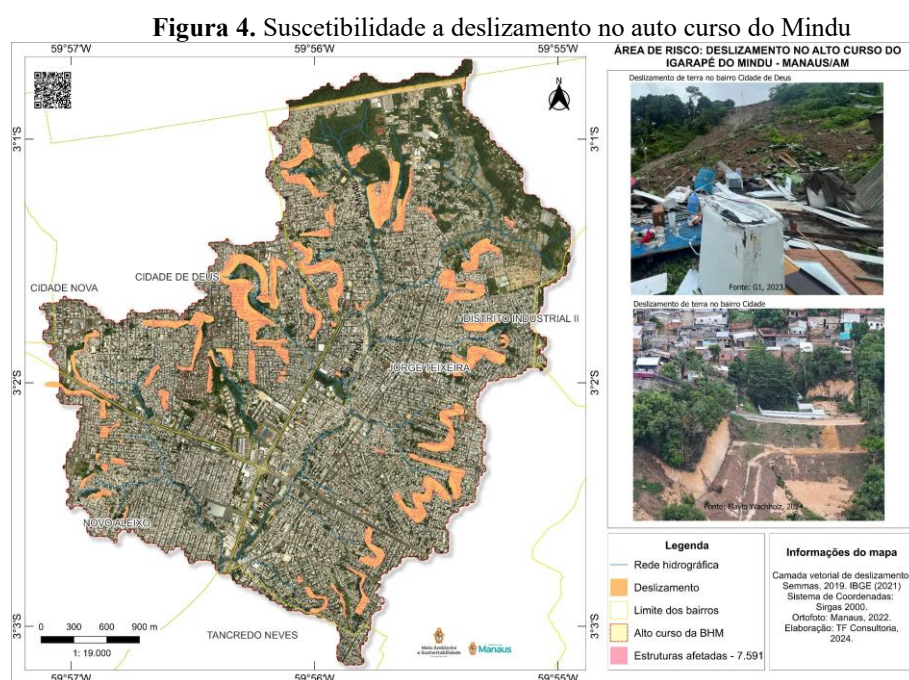


**Fonte:** SEPDEC, org. MACENA, L.S.L. (2016).

A delimitação do alto curso do Mindu está inserida tanto na zona leste e norte da cidade de Manaus, ou seja, os bairros do alto curso estão divididos nessas duas zonas. As altitudes mais elevadas da área urbana da cidade localizam-se no trecho superior da bacia do rio Mindu, variando entre 60 metros nas áreas de fundo de vale e 100 metros nos platôs que separam as bacias hidrográficas (Cassiano, 2013). Esse é um dos fatores que corrobora para o número elevado de deslizamentos registrado nessas duas zonas.

Conforme identifica no mapa da figura 4 a suscetibilidade de deslizamento nessa área é bastante intensa devido às suas características topográficas. Esse fenômeno pode ocasionar grandes impactos principalmente nos corpos hídricos devido à grande carga de sedimento transportado. Conforme especificado por Peixoto (2019) A movimentação de sedimentos, seja em suspensão na coluna d'água

ou deslocando-se pelo leito fluvial, acarreta uma série de impactos que comprometem o estado de equilíbrio ambiental, afetando negativamente os componentes bióticos dos ecossistemas, como a fauna e a flora, assoreamento dos cursos d'água, além de desencadear implicações socioeconômicas significativas.



**Fonte: TF CONSULTORIA**

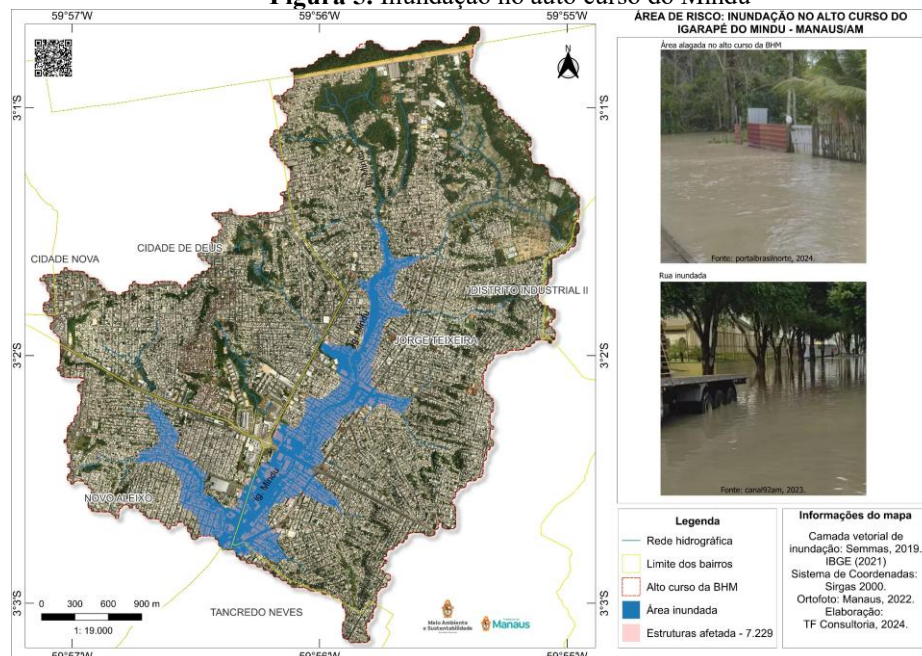
De acordo com a figura 4, os bairros Jorge Teixeira e Cidade de Deus apresentam as maiores concentrações de possíveis ocorrências de deslizamentos. A análise do número de edificações localizadas em áreas classificadas como suscetíveis a movimentos de massa revela um total estimado de 7.591 propriedades impactadas somente no alto curso do igarapé do Mindu. Esses impactos ultrapassam os prejuízos materiais, representando, sobretudo, uma séria ameaça à segurança e à vida dos habitantes dessas localidades.

## 2. Inundação

A Figura 5 ilustra as áreas inundadas no alto curso da bacia hidrográfica. A mancha azul destaca a região que foi impactada, indicando que 7.229 estruturas foram afetadas por inundações. As imagens adjacentes complementam essa visualização, mostrando a realidade desse impacto. Quando há chuvas intensas, aumenta a probabilidade de as populações que vivem nesse ambiente ecologicamente desequilibrado serem afetadas, principalmente pela falta de suporte estrutural. No entanto, esses dados podem subsidiar a implementação de políticas públicas eficazes. Sendo os objetivos dessas políticas minimizar o desgaste financeiro – pelo impacto causado anualmente –, físico e emocional das comunidades, idealmente eliminando-o por completo, uma vez que o mapa identifica essas áreas

de risco. Além disso, é importante notar que o aumento da mancha de inundação ocorre nos cursos médio e baixo da área da bacia delimitada devido ao volume de água recebido de toda a bacia.

**Figura 5. Inundação no auto curso do Mindu**



**Fonte: TF CONSULTORIA**

De acordo com Alves et al (2016) a sub-bacia do Alto Mindu demonstra uma densidade de ocupação antrópica inferior em comparação com as sub-bacias do Médio e Baixo Mindu. Contudo, pontos específicos dentro desta área registram eventos recorrentes de inundações. Essas ocorrências são atribuídas a intensa ocupação das margens do igarapé e a morfologia das vertentes, que exibem declividades acentuadas. A reduzida taxa de ocupação na sub-bacia do Alto Mindu se deve em grande parte, a presença das unidades de conservação: Jardim Botânico Adolpho Ducke e o Parque Municipal Nascentes do Mindu. Este último, com uma área de 16 hectares, foi estabelecido com o propósito de defender e conservar as nascentes primárias que formam o Igarapé do Mindu.

Entre 2007 e 2015, a mídia local de Manaus noticiou aproximadamente 88 ocorrências de inundações na bacia, a maioria delas diretamente ligada a eventos de chuva intensa. Um exemplo notório ocorreu em 9 de fevereiro de 2011, quando fortes chuvas resultaram em 58 chamadas para a Defesa Civil. A maioria dos chamados era referente a risco de desabamento de barrancos e alagamentos, com as zonas Norte e Leste sendo as mais afetadas (Alves et al, 2016). É importante frisar o fato que mesmo o nível de ocupação do alto Mindu ser considerado menor em relação ao baixo e meio, o número de ocorrências não corresponde proporcionalmente ao nível de ocupação dessas áreas. Como descrito pelo exemplo do fatídico dia, as zonas norte e leste foram as mais afetadas, e estão inseridas no alto curso da bacia do Mindu.

## **CONCLUSÃO**

A pesquisa sobre os riscos ambientais na porção do alto curso da bacia do Mindu em Manaus/AM revelou a intensificação de deslizamentos e inundações, fenômenos pelo crescimento urbano desordenado e pela falta de planejamento territorial. A água, essencial para a vida, também se mostra um fator determinante na ocorrência desses desastres, especialmente com a intervenção humana desequilibrando o ambiente. As zonas norte e leste de Manaus/AM, onde o alto curso do Mindu está inserido, concentram a maioria dos deslizamentos, e a suscetibilidade a esses eventos é intensa devido às características topográficas. Além disso, a ocupação irregular das margens e a morfologia das vertentes contribuem para inundações recorrentes, apesar da menor densidade de ocupação em algumas áreas devido à presença de unidades de conservação. O mapeamento dessas áreas é crucial para a gestão e regulação dos recursos hídricos, visando reduzir os impactos sociais e ambientais e assegurar a sustentabilidade para as presentes e futuras gerações. Do mesmo modo, se faz necessário desenvolver planos de contingência que possibilitem o controle ou façam cessar os riscos ambientais na bacia hidrográfica do Mindu, todavia, esta providência somente se perfaz na identificação efetiva dos locais de risco ambiental.

## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) através do Convênio CAPES/UNESP Nº. 951420/2023. Agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua pelo apoio técnico científico aportado até o momento. Agradeço o apoio e incentivo da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas - FAPEAM pelo apoio financeiro em forma de bolsa, disponibilizada para o autor Antônio Morais Júnior. Agradecimentos à Secretaria de Estado de Educação e Desporto Escolar - SEDUC – Amazonas pela liberação do autor Antônio Morais Júnior de suas funções para participar do PPG ProfÁgua. Agradecimentos à ANA pela cessão de dados hidrológicos distribuídos gratuitamente. O quinto e nono coautores agradecem pela concessão da Gratificação de Produtividade Acadêmica da UEA.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, N.S. “*Fatores condicionantes do risco de inundações na Bacia Hidrográfica do Igarapé do Mindu, Manaus-AM*”. Anais do 11º Sinageo, Maringá-PR, 2016.
- BRASIL. Ministério das Cidades; INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. “*Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios*”. Brasília: Ministério das Cidades; IPT, 2007. 176 p.
- CASSIANO, Karla Regina Mendes. “*Análise geográfica de áreas de risco na bacia hidrográfica no igarapé do Mindu - Manaus (AM)*”. 2013. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.
- COSTA, Reinaldo Corrêa. “*Áreas de risco: processos da natureza e produção da sociedade*”. Revista Geonorte, Edição Especial, v. 4, n. 4, p. 89–104, 2012.
- DAGNINO, Ricardo Sampaio. “*Mapa de Riscos Ambientais na Sub-Bacia do Ribeirão das Pedras*”. In: TORRES, Roseli Buzanelli; ADAMI, Samuel Fernando; COELHO, Ricardo Marques (Orgs.). Atlas socioambiental da bacia do ribeirão das Anhumas. Campinas: Pontes Editores, 2014. p. 152–154.
- HIGHLAND, Lynn M.; BOBROWSKY, Peter. “*O manual de deslizamento: um guia para a compreensão de deslizamentos*”. Tradução e adaptação por Paulo R. Rogério e Juarês José Aumond. Reston: U.S. Geological Survey, 2008. 129 p. (Circular 1325).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. “*Mapeamento de áreas de alto e muito alto risco a deslizamentos e inundações do município de Vinhedo*”, SP. São Paulo: IPT, 2013.
- LEMO, Lila Sigríd Macena. “*Áreas de risco nas bacias hidrográficas urbanizadas de Manaus*”. 2016. 178 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Ciências Humanas e Letras, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016.
- MACHADO, Roberto Rosa; ZACARIAS, Giovanni Matiuzzi. “*Análise de risco de deslizamento*”. Revista Ordem Pública e Defesa Social, Florianópolis, v. 9, n. 1, p. 79-91, jan./jun. 2016.
- PEIXOTO, Rodrigo de Almeida Oliveira. “*Estudo do transporte de sedimentos na bacia hidrográfica do Rio Jordão – UPGRH-PN 1*”. 2019. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.
- SOUZA, Jilvana Ferreira da Silva. “*Riscos socioambientais, racismo estrutural e deslizamentos em Salvador*”. 2021. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2021.
- TAVEIRA, Bruna Daniela de Araujo. “*Hidrogeografia e gestão de bacias*”. Curitiba: InterSaberes, 2018.
- WHATELY, Marussia; CAMPANILI, Maura. “*O século da escassez: uma nova cultura de cuidado com a água: impasses e desafios*”. 1. ed. São Paulo: Claro Enigma, 2016.