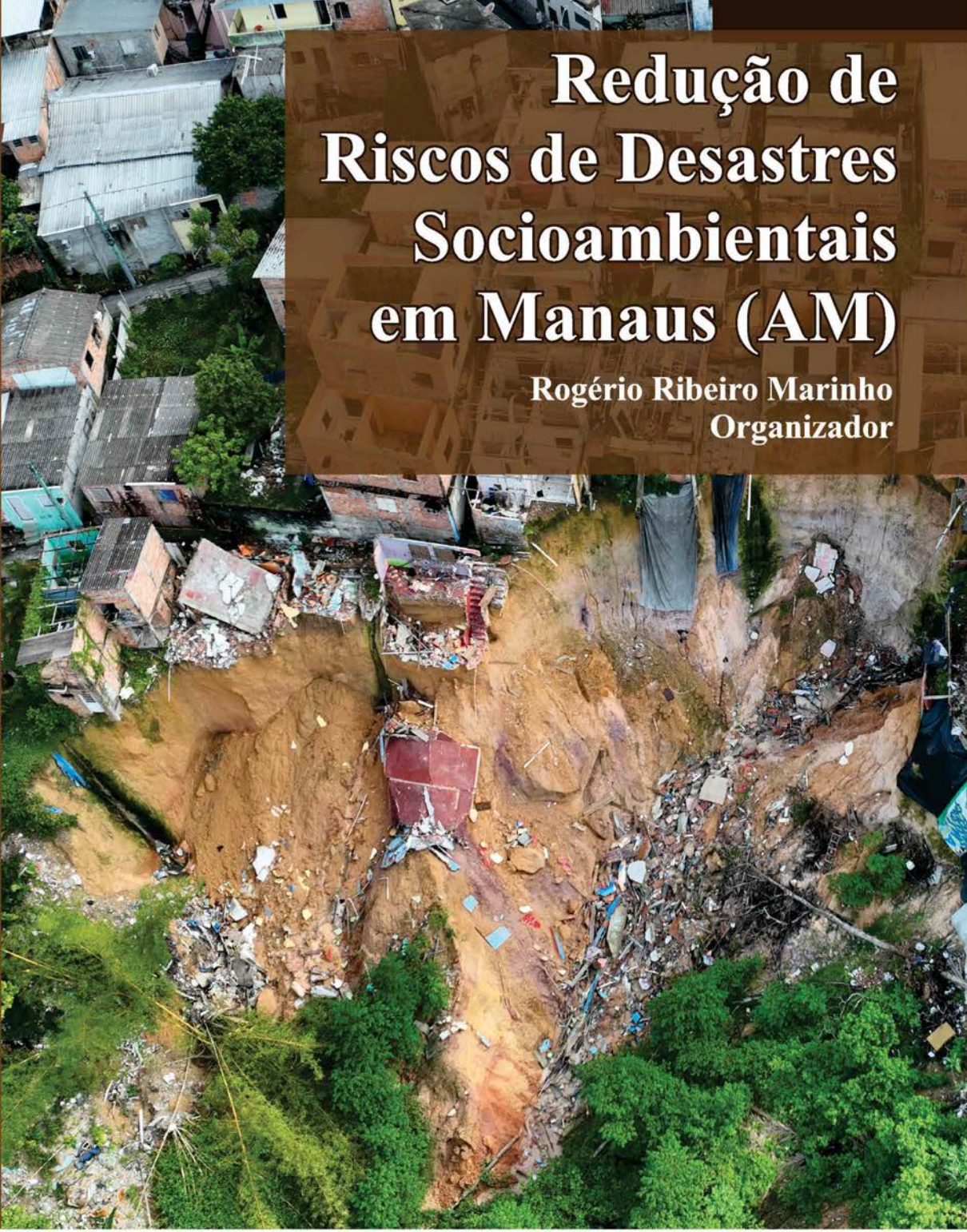


Redução de Riscos de Desastres Socioambientais em Manaus (AM)

Rogério Ribeiro Marinho
Organizador

ALEXA CULTURAL
FAPEAM
Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas
RRD MANAUS
PPGEOG
EDUA
EDITORA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

REDUÇÃO DE RISCOS DE DESASTRES SOCIOAMBIENTAIS EM MANAUS (AM)

Esta obra foi realizada com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), por meio do Edital N.004/2024 – PEX-CT&I/ FAPEAM.



Rogério Ribeiro Marinho
Organizador

REDUÇÃO DE RISCOS DE DESASTRES SOCIOAMBIENTAIS EM MANAUS (AM)

UFAM

ALEXA CULTURAL

Embu das Artes / SP
2026

EDUA
EDITORA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

Comitê Científico Alexa Cultural

Presidente
Adailton da Silva (UFJ – Jataí/GO)

Vice-presidente
Gilse Elisa Rodrigues (UFAM – Benjamin Constant/AM)

Membros
Alexandre Santos de Oliveira (IFS - Poço Redondo/SE
Ana Cristina Alves Balbino (UNIP – São Paulo/SP)
Ana Paula Nunes Chaves (UDESC – Florianópolis/SC)
Antonio Carlos Batista de Souza (IFAM CMC – Manaus/AM)
Barbara M. Arisi (UNILA – Foz do Iguaçu/PR)
Denia Roman Solano (Universidade da Costa Rica – Costa Rica)
Débora Cristina Goulart (UNIFESP – Guarulhos/SP)
Diana Sandra Tamburini (UNR – Rosário/Santa Fé – Argentina)
Estevão Rafael Fernandes (UNIR – Porto Velho/RO)
Gabriel Frechiani de Oliveira (SEDUC/PI – Floriano)
Graziele Acçolini (UFGD – Dourados/MS)
Guilherme Gitahy de Figueiredo (UEA - Tefé/AM)
Iraíldes Caldas Torres (UFAM – Manaus/AM)
Juan Álvaro Echeverri Restrepo (UNAL – Letícia/Amazonas – Colômbia)
Karel Henricus Langermans (ECA/USP – São Paulo/SP)
Leandro Colling (UFBA – Salvador/BA)
Lilian Marta Grisólio (UFCAT – Catalão/GO)
Luciane Soares da Silva (UENF – Campos de Goitacazes/RJ)
Mabel M. Fernández (UNLPam – Santa Rosa/La Pampa – Argentina)
Marcial Cotes (UESC - Ilhéus/BA)
Maria Auxiliadora Coelho Pinto (UEA - Tabatinga/AM)
Marlon Borges Pestana (FURG – Universidade Federal do Rio Grande/RS)
Michel Justamand (UFAM – Benjamin Constant/AM)
Patricia Sposito Mechi (UNILA – Foz do Iguaçu/PR)
Pedro Paulo Abreu Funari (UNICAMP – Campinas/SP)
Rafaela Cássia Procknov (IFSP – Avaré/SP)
Renilda Aparecida Costa (UFAM – Manaus/AM)
Rita de Cassia Andrade Martins (UFJ – Jataí/GO)
Sebastião Rocha de Sousa (UEA – Tabatinga/AM)
Sidney Barata de Aguiar (SEDUC – Manaus/AM)
Tharcisio Santiago Cruz (UFAM – Humaitá/AM)
Thereza Cristina Cardoso Menezes (UFRRJ – Rio de Janeiro/RJ)
Wanderson Fabio Melo (UFF – Rio das Ostras/RJ)
Yvone Dias Avelino (PUC/SP)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

CONSELHO EDITORIAL

Presidente
Henrique dos Santos Pereira

Membros
Antônio Carlos Witkoski
Domingos Sávio Nunes de Lima
Edleno Silva de Moura
Elizabeth Ferreira Cartaxo
Spartaco Astolfi Filho
Valeria Augusta Cerqueira Medeiros Weigel

COMITÊ EDITORIAL DA EDUA
Louis Marmoz - Université de Versailles
Antônio Cattani - UFRGS
Alfredo Bosi - USP
Arminda Mourão Botelho - Ufam
Spartacus Astolfi - Ufam
Boaventura Sousa Santos - Universidade de Coimbra
Bernard Emery - Université Stendhal-Grenoble 3
Cesar Barreira - UFC
Conceição Almeida - UFRN
Edgard de Assis Carvalho - PUC/SP
Gabriel Conh - USP
Gerusa Ferreira - PUC/SP
José Vicente Tavares - UFRGS
José Paulo Netto - UFRJ
Paulo Emílio - FGV/RJ
Élide Rugai Bastos - Unicamp
Renan Freitas Pinto - Ufam
Renato Ortiz - Unicamp
Rosa Ester Rossini - USP
Renato Tribuzy - Ufam

Diretora da Edua
Heloísa Borges

Vice-Reitor
Geone Corrêa

Reitora
Tanara Lauschner

Agradecimentos:
Agradecemos, de forma especial, ao corpo docente e discente do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Amazonas (PPGEOG/UFAM), pelo compromisso público de quase duas décadas no desenvolvimento de pesquisas aplicadas e formação de recursos humanos qualificados para atuar na Amazônia. A publicação desta obra só foi possível graças ao apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), por meio do Edital 04/2024 PEX-CT&I/FAPEAM, que assegurou as condições necessárias para a sistematização, edição e divulgação do conhecimento aqui reunido. Manifestamos, igualmente, nosso reconhecimento à Prefeitura de Manaus, em especial ao Comitê Gestor de Redução de Riscos de Desastres (CGRRD), pela parceria institucional, pelo suporte técnico e pela abertura ao diálogo com territórios e comunidades urbanas e ribeirinhas de Manaus. Por fim, registramos nossos agradecimentos ao Departamento de Mitigação e Prevenção de Risco da Secretaria Nacional de Periferias do Ministério das Cidades, pelo apoio e convergência de esforços na agenda nacional de redução de riscos e fortalecimento da resiliência urbana.

Dedicatória:
Dedico este livro aos agentes da Defesa Civil de Manaus, que atuam com coragem na prevenção e na resposta; aos comunitários e moradores que compartilharam suas experiências; aos pesquisadores do Serviço Geológico do Brasil em Manaus; e à minha família, Djessica, Pedro e Luís

© by Alexa Cultural

Direção
Gladys Corcione Amaro Langermans
Nathasha Amaro Langermans
Editor
Karel Langermans
Capa
Diogo Ferreira Ribeiro
Revisão Técnica
Rogério Ribeiro Marinho
Revisão de língua portuguesa
Matheus Silveira de Queiroz
Edição e diagramação
Alexa Cultural

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

R324 Redução de riscos de desastres socioambientais em Manaus (AM) / organização de Rogério Ribeiro Marinho. – 1. ed. – Embu das Artes, SP: Alexa Cultural, 2026.

111 p. : il. ; 16 × 23 cm.
Inclui bibliografia.
ISBN 978-85-5467-712-1 - E-book em PDF

1. Geografia – Manaus (AM). 2. Desastres socioambientais – Prevenção e redução de riscos. 3. Sustentabilidade urbana – Amazônia. 4. Gestão ambiental – Políticas públicas. I. Marinho, Rogério Ribeiro. II. Título.

CDD 363.34

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Índices para catálogo sistemático:
Geografia - Manaus/AM
Prevenção e redução de riscos
Amazonas

Todos os direitos reservados e amparados pela Lei 5.988/73 e Lei 9.610
É terminantemente proibida a reprodução parcial ou integral do conteúdo desta obra sem a prévia autorização da autora e/ou editora.

Alexa Cultural Ltda
Rua Henrique Franchini, 256
Embú das Artes/SP - CEP: 06844-140
alexa@alexacultural.com.br
alexacultural@terra.com.br
www.alexacultural.com.br
www.alexaloja.com

Editora da Universidade Federal do Amazonas
Avenida Gal. Rodrigo Otávio Jordão Ramos,
n. 6200 - Coroado I, Manaus/AM
Campus Universitário Senador Arthur Virgilio Filho,
Centro de Convivência – Setor Norte
Fone: (92) 3305-4291 e 3305-4290
E-mail: ufam.editora@gmail.com

A gestão dos riscos, sejam eles ambientais, industriais, econômicos (na verdade, sociais), traduz as escolhas políticas e as decisões finais de organização dos territórios. Esse saber, esses métodos de análise da geografia, devem ser confrontados com outras disciplinas: a abordagem do direito é fundamental; a da história, essencial; a das ciências econômicas ou da física, absolutamente importante. Ora, para trabalhar de forma complementar ou multidisciplinar são necessárias, inicialmente, a correta definição do objeto estudado e a determinação exata de um vocabulário comum, compreensível por todos.

Veyret, Yvette. Os riscos o homem como agressor e vítima do meio ambiente. São Paulo: Contexto, 2007.

Prefácio

O livro “Redução de Riscos de Desastres Socioambientais em Manaus (AM)” organizado pelo professor Rogério Ribeiro Marinho, da Universidade Federal do Amazonas, é composto por oito capítulos que versam sobre as múltiplas camadas do conceito de risco. No capítulo de abertura intitulado “Redução de Riscos de Desastres em Manaus: desafios e possibilidades para adaptação climática de cidades no contexto amazônico”, Rogério Marinho analisa questões teóricas sobre a geografia do espaço urbano, o processo de urbanização da cidade de Manaus e a formação de áreas de riscos com ênfase nas áreas favelas e comunidades urbanas. Além disso, menciona como as agendas globais como o Marco de Sendai e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável apontam para soluções locais como a elaboração de Planos Municipais de Redução de Riscos, contexto em que os capítulos deste livro foram elaborados com apoio do Ministério das Cidades. A base teórica da ciência geográfica serviu de fundamento conceitual-metodológico para a elaboração do capítulo “Diagnóstico geomorfológico dos setores de risco a desastres na área urbana de Manaus/AM”, de autoria de Diogo Ribeiro e Edgardo Latrubesse, que optaram por analisar o relevo a partir das bacias hidrográficas urbanas considerando a sua importância para o planejamento territorial. As características morfométricas destas bacias foram aprofundadas por Thayná Nascimento e Naziano Filizola Júnior ao analisar onze variáveis no capítulo intitulado “Caracterização morfométrica das bacias hidrográficas do espaço urbano de Manaus”. Quanto ao olhar sobre a vulnerabilidade ambiental, técnicas de geoprocessamento resultaram no capítulo “Análise preliminar da vulnerabilidade ambiental a deslizamentos em Manaus: uma abordagem com lógica Fuzzy” escrito por João Silva Neto e Rogério Marinho. A severidade da estiagem foi cartografada por Rogério Marinho, Diogo Ribeiro e Naziano Filizola Junior no texto “Mapeamento do grau de risco de seca em comunidades ribeirinhas de Manaus, Amazonas” ressaltando a importância dos resultados para buscar soluções ao isolamento e a insegurança hídrica referente a esta ameaça. Para que mudanças efetivas ocorram nos municípios, a legitimidade de ações é pautada em instrumentos jurídicos e normativos que foram analisados por Deivison Molinari no capítulo intitulado “Marco legal e institucional da redução de riscos de desastres em Manaus”. Por fim, com vistas a propor soluções aos riscos implantados na cidade de Manaus, Thayná Nascimento e Naziano Filizola Junior trazem apontamentos no texto “Intervenções estruturais e não estruturais em setores de risco hidrológicos em Manaus”, assim como os autores Antônio Vieira, Deivison Molinari e Rogério Marinho no capítulo intitulado “Proposta de intervenção em áreas de risco geomorfológico: o caso a comunidade Pingo D’água, Manaus-AM”. Após essa ampla leitura sobre os Riscos Socioambientais

da cidade de Manaus, esta obra contribui para a compreensão dos desastres históricos que ocorrem em parte do território urbano, e, avança com mapeamentos e proposições estruturais e não-estruturais que puderam ser desenvolvidas a partir da elaboração do Plano Municipal de Redução de Riscos de Manaus. Desejo a todos uma excelente leitura, reflexão, e, principalmente, que soluções concretas surjam a partir desse diagnóstico analítico expresso no livro “Redução de Riscos de Desastres Socioambientais em Manaus (AM)”.

Milena Marília Nogueira de Andrade
Universidade Federal Rural da Amazônia

Sumário

Prefácio
Milena Marília Nogueira de Andrade
- 9 -

Apresentação
Rogério Ribeiro Marinho
- 13 -

PARTE I
BASES CONCEITUAIS, INSTITUCIONAIS E DIAGNÓSTICOS DOS RISCOS SOCIOAMBIENTAIS EM MANAUS

Redução de Riscos de Desastres em Manaus: desafios e possibilidades para adaptação climática de cidades no contexto amazônico
Rogério Ribeiro Marinho
- 15 -

Diagnóstico geomorfológico dos setores de risco a desastres na área urbana de Manaus/AM
Diogo Ferreira Ribeiro e Edgardo Latrubesse
- 24 -

Caracterização morfométrica das bacias hidrográficas do espaço urbano de Manaus
Thayná Rosário do Nascimento e Naziano Pantoja Filizola Júnior
- 36 -

Análise preliminar da vulnerabilidade ambiental a deslizamentos em Manaus: uma abordagem com lógica Fuzzy
João Cândido André da Silva Neto e Rogério Ribeiro Marinho
- 42 -

Mapeamento do grau de risco de seca em comunidades ribeirinhas de Manaus, Amazonas
Rogério Ribeiro Marinho, Diogo Ferreira Ribeiro e Naziano Pantoja Filizola Júnior
- 57 -

Marco legal e institucional da redução de riscos de desastres em Manaus
Deivison Carvalho Molinari
- 66 -

PARTE II
INTERVENÇÕES, PROPOSTAS E ESTRATÉGIAS PARA A REDUÇÃO DE RISCOS EM MANAUS

Dinâmica do risco geomorfológico e possibilidades de intervenção na comunidade Pingo D'Água, Manaus (AM)
Antonio Fábio Sabbá Guimarães Vieira, Deivison Carvalho Molinari e Rogério Ribeiro Marinho
- 73 -

Intervenções estruturais e não estruturais em setores de risco hidrológicos em Manaus
Thayná Rosário do Nascimento e Naziano Pantoja Filizola Júnior
- 83 -

Glossário
- 91 -

Apêndice I
Ficha de Campo para atividade de diagnóstico e avaliação de Setores de Risco
- 93 -

Apêndice II
SIG do Projeto RRD Manaus
- 98 -

Apêndice III
Protocolo orientador para aerolevantamento com Drone aplicado ao mapeamento de setores de risco
- 99 -

Indice Remissivo
- 105 -

Biografia dos Autores
- 107 -

Apresentação

Esta obra buscou responder uma demanda estratégica do município: dispor de diagnósticos atualizados, espacialmente explícitos e socialmente ancorados sobre áreas sujeitas a desastres, de modo a subsidiar a formulação, a priorização e o monitoramento de políticas públicas de redução de riscos. Destina-se a gestores e técnicos municipais, equipes de Defesa Civil, formuladores de políticas, pesquisadores e estudantes, bem como a lideranças comunitárias, ao reconhecer que os riscos são produzidos por interações entre processos naturais, padrões de ocupação, infraestrutura urbana e desigualdades socioespaciais.

Os resultados aqui sistematizados integram o Projeto Multicêntrico de Pesquisa-ação e Inovação voltado à elaboração do Plano Municipal de Redução de Riscos de Desastres, iniciativa em curso conduzida pelo Departamento de Mitigação e Prevenção de Risco, vinculado à Secretaria Nacional de Periferias do Ministério das Cidades. Em Manaus, o projeto foi desenvolvido em cooperação técnico-científica entre equipes da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), em articulação com a Prefeitura de Manaus.

O livro organiza-se em duas partes, totalizando oito capítulos e três apêndices. A Parte I reúne fundamentos conceituais, marcos institucionais e diagnósticos geomorfológicos, de vulnerabilidade e de risco de seca em comunidades ribeirinhas de Manaus. A Parte II apresenta propostas de intervenção e estratégias estruturais e não estruturais para setores de risco hidrológico e geomorfológico no espaço urbano da cidade.

As abordagens empregadas integram metodologias desenvolvidas e adaptadas ao contexto amazônico, combinando dados primários e secundários, nos espaços urbano e ribeirinho e a delimitação de setores e comunidades em base georreferenciada aberta, disponibilizada online (ver apêndice II), assegurando transparência, reprodutibilidade e potencial de atualização continuada.

Espera-se que os conceitos, as discussões, os procedimentos metodológicos e os dados aqui apresentados sejam úteis a pesquisadores que atuam nesta temática e, simultaneamente, sirvam como referência técnico-operacional para gestores públicos, fortalecendo a capacidade de planejamento, priorização de intervenções e monitoramento contínuo dos setores de risco em Manaus, com base em evidências e em diálogo com os territórios.

Rogério Ribeiro Marinho
Março de 2026

PARTE I
BASES CONCEITUAIS, INSTITUCIONAIS E DIAGNÓSTICOS DOS RISCOS SOCIOAMBIENTAIS EM MANAUS

Redução de Riscos de Desastres em Manaus: desafios e possibilidades para adaptação climática de cidades no contexto amazônico

Rogério Ribeiro Marinho
Universidade Federal do Amazonas
rogeo@ufam.edu.br

1. Introdução

A urbanização acelerada das cidades amazônicas apresenta desafios únicos para o planejamento urbano resiliente no século XXI. Manaus, metrópole de 2.063.689 habitantes e centro econômico da Amazônia Ocidental, exemplifica as complexidades da gestão de riscos em territórios onde convergem vulnerabilidades sociais, fragilidades ambientais e eventos climáticos extremos. Com 55% de sua população residindo em comunidades urbanas precárias (favelas) e 50% com acesso a esgotamento sanitário (IBGE, 2022), a capital amazonense enfrenta uma crise multidimensional que demanda soluções inovadoras e participativas.

Alinhado ao Marco de Sendai (2015-2030), que preconiza abordagens intersetoriais e centradas nas pessoas para redução de riscos de desastres (UNISDR, 2015), o Brasil incentiva desde 2003 o desenvolvimento de Planos Municipais de Redução de Riscos (PMRR). Embora tenham avançado no diagnóstico físico-territorial, estes instrumentos ainda apresentam assimetrias metodológicas que privilegiam aspectos geotécnicos em detrimento das dimensões sociais (MENDONÇA et al., 2023). No entanto, percebe-se uma carência de iniciativas que integrem saberes comunitários, soluções baseadas na natureza e governança participativa, visando oferecer modelos replicáveis para cidades amazônicas.

O PMRR dialoga diretamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), particularmente o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e o ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima), demonstrando que a resiliência urbana na Amazônia requer abordagens que reconheçam as especificidades regionais sem perder de vista os compromissos globais.

O PMRR de Manaus, desenvolvido entre 2024 e 2025 através de cooperação entre a Universidade Federal do Amazonas, a Secretaria Nacional de Periferias do Ministério das Cidades e a Prefeitura Municipal, representa um marco no planejamento urbano resiliente na região amazônica. Este instrumento técnico-gerencial estratégico não apenas mapeia e diagnostica setores de risco, mas busca integrar conhecimento científico, saberes comunitários e tecnologias avança-

das de monitoramento de setores urbanos vulneráveis a alagamentos, inundações e deslizamentos de terra.

O desenvolvimento deste modelo deve transcender o contexto local, alinhando-se às agendas globais de desenvolvimento sustentável e adaptação climática. Com a realização da Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas de 2025 (COP30) em Belém, a experiência de Manaus oferece algumas lições sobre como cidades amazônicas podem liderar processos de transformação urbana que priorizem justiça climática, permanência territorial e soluções baseadas na natureza.

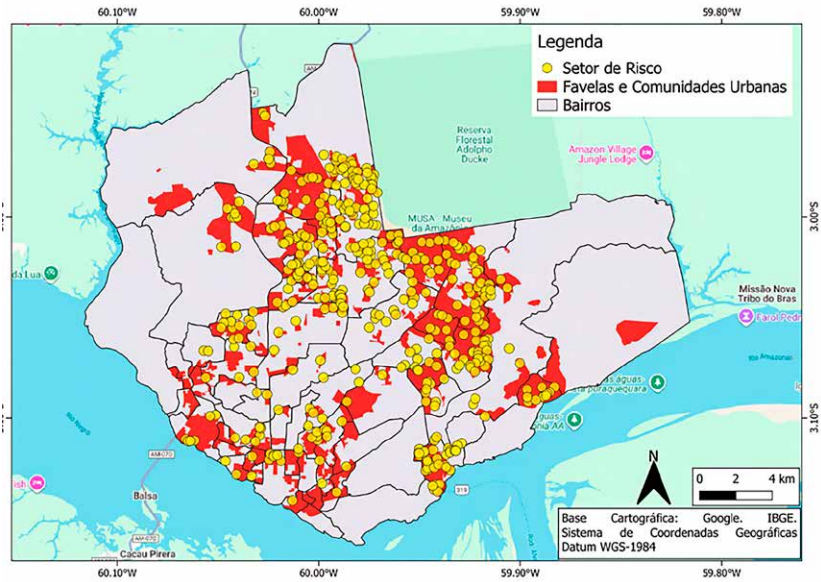
Este capítulo discute formas de mitigar impactos de eventos climáticos extremos em cidades amazônicas, tomando Manaus como estudo de caso. Analisa como o PMRR pode integrar soluções baseadas na natureza, governança participativa e tecnologias de monitoramento para enfrentar vulnerabilidades socioambientais e a sazonalidade climática da região. Partimos do princípio que modelos adaptativos locais podem gerar alternativas replicáveis para um urbanismo resiliente na Amazônia.

2. A Geografia do Risco em Manaus

O mapeamento detalhado realizado pelo Serviço Geológico do Brasil em 2025 (SGB, 2025) identificou 438 setores de risco de desastres distribuídos no espaço urbano de Manaus (Figura 1), abrangendo cerca de 28.000 moradias e afetando diretamente 112.104 habitantes. Esta geografia do risco não é aleatória, mas reflete padrões históricos de ocupação urbana desordenada que se intensificaram desde a implantação do Distrito Industrial de Manaus no final da década de 1960 (MOLINARI, 2023). O crescimento populacional de quase seis vezes nas últimas cinco décadas não foi acompanhado por infraestrutura adequada, resultando em ocupações irregulares em encostas muito íngremes, fundos de vales e margens de igarapés (Figura 2).

A concentração espacial dos riscos revela profundas desigualdades socioterritoriais. Os bairros localizados nas zonas Leste e Norte da cidade concentram 75% dos setores mapeados e registraram mais de 60% dos atendimentos da Defesa Civil entre 2021 e 2024. Estas áreas são os territórios de maior densidade populacional (superior a 8.000 habitantes por km²) e menor acesso a serviços urbanos básicos, configurando o que se denomina de periferização do risco.

Figura 1. Localização dos setores de risco no espaço urbano de Manaus



Fonte: IBGE e SGB (2026).

A tipologia dos riscos apresenta características distintas que demandam abordagens diferenciadas. Os riscos relacionados a processos geomorfológicos, que representam mais de 76% dos setores mapeados, incluem erosão, deslizamentos e subsidências, predominando em áreas de ocupação de divisores de sub-bacias urbanas com elevada declividade e solos vulneráveis. Já os processos hidrológicos, correspondentes a 23% dos setores de risco, e englobam inundações, alagamentos e enxurradas, concentrando-se em planícies fluviais e margens de igarapés. A análise temporal demonstra correlação direta entre precipitação e ocorrências da Defesa Civil, com maiores registros entre janeiro e abril, quando as chuvas podem ultrapassar 400 mm mensais, evidenciando a influência da sazonalidade climática na deflagração de desastres.

O grau de criticidade é alarmante na cidade de Manaus, com 82% dos setores classificados como risco alto (grau R3). Entre os setores de maior prioridade, destacam-se aqueles situados nos bairros Jorge Teixeira, Cidade Nova, Gilberto Mestrinho e Mauazinho devido à elevada exposição de riscos dos moradores. A mancha de inundação delimitada durante a cheia histórica do Rio Negro em 2021 atingiu 12,8 km² e afetou 3.915 famílias, demonstrando que os riscos hidrológicos, embora menos frequentes em número de setores, apresentam impacto territorial extensivo e capacidade de afetar simultaneamente milhares de pessoas.

Figura 2. Exemplos de moradias em setores de risco de desastres em Manaus



Fonte: O autor (2024).

3. Soluções Baseadas na Natureza como Paradigma

As Soluções Baseadas na Natureza (SBN) emergem como paradigma transformador para a gestão de riscos urbanos. Diferentemente das intervenções convencionais de infraestrutura cinza (obras geotécnicas), as SBN aproveitam processos ecossistêmicos para mitigar riscos enquanto geram cobenefícios ambientais, sociais e econômicos. Esta abordagem é particularmente relevante em contextos amazônicos, onde a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos constituem ativos estratégicos para a resiliência urbana.

O PMRR de Manaus propõe um conjunto integrado de intervenções verdes adaptadas às condições geomorfológicas e climáticas locais. Para mitigação de inundações, recomenda-se a preservação de zonas úmidas (wetlands) naturais com pouca urbanização ou a recuperação de wetlands em espaços construídos associados a jardins de chuva que possam funcionar como esponjas urbanas, absorvendo o excesso de águas pluviais. Estas estruturas reduzem o escoamento superficial e melhoram a qualidade da água através de processos naturais de filtração e remoção de poluentes. A revegetação de encostas com espécies nativas de raízes profundas oferece estabilização natural do solo, reduzindo a probabilidade de deslizamentos enquanto cria corredores ecológicos urbanos.

A proposta de parques lineares ao longo dos igarapés representa possibilidade de uso de espaços públicos pela população urbana. Estes espaços multifuncionais combinam proteção contra riscos hidrológicos com áreas de lazer, recreação e conservação da biodiversidade. O conceito de infraestrutura verde-azul integra sistemas de drenagem sustentável com recuperação de margens degradadas, criando uma rede interconectada que aumenta a permeabilidade urbana e reduz ilhas de calor. A implementação deste tipo de sistema pode reduzir a temperatura local e diminuir os picos de vazão durante eventos extremos de precipitação.

A implementação de telhados verdes e sistemas de pavimentação permeável em áreas densamente construídas complementa a estratégia de mitigação do calor urbano. Estas tecnologias, quando aplicadas em escala de comunidades, podem reduzir o escoamento superficial e a demanda energética para refrigeração, contribuindo simultaneamente para adaptação e mitigação climática. O PMRR propõe ainda a criação de "biovaletas" ao longo das principais vias, integrando mobilidade urbana com gestão hídrica sustentável.

O custo-benefício das intervenções baseadas na natureza tende a oferecer vantagens econômicas significativas quando comparadas às soluções convencionais. Enquanto obras tradicionais de contenção de erosão nas encostas de Manaus demandam investimentos médios da ordem de R$ 2 milhões por setor de risco, as SBN podem ser implementadas com menores custos de investimentos e manutenção ao longo do tempo, além de valorização imobiliária, melhoria da saúde pública e conservação da biodiversidade urbana.

4. Governança Integrada e Permanência Territorial

A governança do PMRR de Manaus estabelece um modelo de gestão participativa que desafia paradigmas tradicionais de planejamento urbano verticalizado. O Comitê Gestor Municipal de Redução de Riscos, instituído pelo Decreto nº 5.915/2024, integra nove órgãos municipais com a comunidade acadêmica, criando uma plataforma interinstitucional que articula conhecimento técnico-científico com políticas públicas setoriais. Esta estrutura deve ter caráter permanente, para transcender a temporalidade de gestões políticas e assegurar continuidade nas ações de redução de riscos.

No PMRR, defende-se que remoções devem ser consideradas apenas como última alternativa, após esgotadas todas as possibilidades de intervenções estruturais e não estruturais que permitam a permanência segura das famílias. Esta abordagem reconhece que os vínculos territoriais, redes de apoio comunitário e economias locais constituem dimensões fundamentais da resiliência social que não podem ser negligenciadas em processos de redução de riscos.

A percepção comunitária sobre riscos em Manaus revela alguns aspectos interessantes sobre dinâmicas locais de risco. As sugestões dos moradores, categorizadas em 46% de intervenções estruturais, 14% não estruturais e 40%

mistas, demonstram compreensão concreta sobre a necessidade de abordagens integradas. Esta convergência entre saberes técnicos e comunitários fortalece a legitimidade social das intervenções e aumenta significativamente as chances de implementação bem-sucedida.

O modelo de governança necessário deve articular diferentes escalas de ação, desde os Núcleos Comunitários de Proteção e Defesa Civil (NUPDECs) até instâncias metropolitanas de planejamento. Esta arquitetura institucional multiescalar permite respostas rápidas a emergências localizadas enquanto mantém coerência estratégica nas políticas de longo prazo. A integração com o Plano Diretor Municipal, o Plano de Contingência da Defesa Civil e o Plano de Ação Climática de Manaus assegura que a gestão de riscos seja incorporada transversalmente nas políticas urbanas, evitando fragmentação e sobreposição de esforços.

5. Tecnologia e Monitoramento para Resiliência

A integração de tecnologias avançadas com conhecimento comunitário estabelece novo paradigma para monitoramento e gestão de riscos em cidades amazônicas. O PMRR de Manaus utilizou aeronaves remotamente pilotadas (drones) para mapeamento de precisão, gerando ortomosaicos e modelos digitais de superfície com resolução espacial de 3 cm, permitindo identificação detalhada de edificações em risco e caracterização geomorfométrica. Esta precisão cartográfica, inédita para mapeamentos de risco na Amazônia, possibilita planejamento preciso de intervenções e otimização de recursos públicos.

O sistema de monitoramento proposto integra três camadas complementares de informação. A primeira consiste em estações meteorológicas automáticas distribuídas estrategicamente nos setores de maior risco, fornecendo dados em tempo real sobre precipitação, intensidade e direção do vento e variações de temperatura. A segunda camada sugere a instalação de sensores de nível em canais de drenagem críticos, permitindo antecipação de eventos de inundação com horas de antecedência. A terceira camada deve permitir aos moradores reportarem situações de risco emergente, transformando cidadãos em atores ativos do sistema de monitoramento.

Os NUPDECs representam um processo de mobilização social significativa na gestão comunitária de riscos. Estes núcleos, compostos por moradores capacitados em primeiros socorros, evacuação emergencial e comunicação de riscos, deve funcionar como primeira linha de resposta a desastres. A capacitação realizada pela Defesa Civil Municipal empodera comunidades para a gestão autônoma de riscos cotidianos.

O programa “Defesa Civil nas Escolas” integra educação ambiental com preparação para desastres, com potencial de alcançar centenas de estudantes da rede municipal expostos diretamente a riscos. O currículo, adaptado às realidades locais, pode abordar desde conceitos básicos de meteorologia até protocolos

de evacuação específicos para cada comunidade. Esta estratégia educacional de longo prazo visa criar uma cultura de prevenção que transcende gerações, transformando percepções fatalistas sobre desastres em compreensão técnica sobre gestão de riscos.

6. Lições para Cidades Amazônicas

A experiência de Manaus oferece aprendizados que podem servir de lição para outras cidades amazônicas que enfrentam desafios similares de gestão de riscos em contextos de rápida urbanização e extremos climáticos. A adaptação metodológica às especificidades regionais emerge como fator crítico de sucesso. Diferentemente de modelos importados de outras regiões, o PMRR desenvolveu protocolos específicos para mapeamento de erosões (voçorocas), processo geomorfológico característico dos solos amazônicos (VIEIRA e FROTA FILHO, 2023), e sistemas de alerta adaptados ao regime pluviométrico regional.

A participação comunitária ativa transcende consultas formais, constituindo elemento estruturante de todas as fases do planejamento. A experiência demonstra que comunidades amazônicas possuem conhecimento tradicional detalhado sobre dinâmicas ambientais locais, incluindo indicadores naturais de mudanças climáticas e estratégias adaptativas desenvolvidas ao longo de gerações. A sistematização e integração deste conhecimento com dados técnico-científicos aumenta significativamente a acurácia de mapeamentos de risco e a efetividade de intervenções.

A articulação com políticas climáticas municipais revela-se fundamental para a sustentabilidade de longo prazo das ações de redução de riscos. O alinhamento com planos diretores municipais assegura que a expansão urbana futura não reproduza padrões de ocupação que geram novos riscos, enquanto a conexão com planos de ação climática permite acesso a financiamentos internacionais para implementação de soluções baseadas na natureza.

A cooperação intermunicipal através de redes de gestores públicos possibilita compartilhamento de experiências e economias de escala na aquisição de tecnologias de monitoramento. O desenvolvimento de protocolos padronizados para mapeamento de riscos na Amazônia, liderado pelo Serviço Geológico do Brasil com participação de municípios, cria base comparativa que facilita a priorização de investimentos regionais e a defesa conjunta por políticas públicas específicas para cidades amazônicas.

7. Considerações finais

A elaboração do primeiro Plano Municipal de Redução de Riscos de Manaus buscou estabelecer um novo paradigma para o urbanismo resiliente em ci-

dades amazônicas, demonstrando que é possível conciliar desenvolvimento urbano com conservação ambiental e justiça social. As inovações metodológicas introduzidas, particularmente a integração de conhecimentos técnico-científicos com saberes comunitários e a priorização de soluções baseadas na natureza, oferecem modelo replicável que respeita especificidades regionais enquanto dialoga com agendas globais de sustentabilidade.

Os principais desafios para implementação incluem limitações orçamentárias municipais, necessidade de capacitação técnica continuada e resistências institucionais a modelos participativos de governança. O investimento estimado de R$ 133 milhões para intervenções prioritárias (obras de contenção e novas moradias) representa um desafio fiscal significativo, demandando articulação criativa de fontes de financiamento que incluam recursos federais, cooperação internacional e parcerias público-privadas. A escassez de profissionais especializados em gestão de riscos com conhecimento específico sobre dinâmicas geomorfológicas da Amazônia requer programas urgentes de formação e capacitação, preferencialmente através de parcerias com universidades regionais.

As perspectivas futuras, especialmente no contexto pós-COP30, posicionam cidades amazônicas como laboratórios de inovação para adaptação climática em contextos de alta sociobiodiversidade e vulnerabilidade social. A transição para economias urbanas sustentáveis, combinada com a implementação sistemática de soluções baseadas na natureza, pode transformar cidades amazônicas de centros de risco para centros de referências globais de resiliência urbana. O papel central das comunidades neste processo, não como beneficiárias passivas, mas como protagonistas da transformação urbana, redefine conceitos tradicionais de planejamento e estabelece bases para um urbanismo verdadeiramente participativo e inclusivo.

O potencial de Manaus demonstra que a resiliência urbana na Amazônia não pode ser alcançada através de soluções padronizadas ou importadas de manuais geotécnicos, mas requer desenvolvimento de abordagens específicas que reconheçam a complexidade socioambiental regional. O PMRR emerge como instrumento técnico de gestão de riscos, com possibilidade de ampliar a visão sobre a produção do espaço urbano na Amazônia, que valoriza sua herança ambiental única enquanto constrói futuro seguro, sustentável e justo para todas as pessoas. Esta visão, se amplificada e replicada, pode posicionar a Amazônia não como periferia vulnerável, mas como vanguarda de um urbanismo adaptado aos desafios do Antropoceno nos trópicos.

Referências

BRASIL; PREFEITURA MUNICIPAL DE MANAUS; UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS. **Plano Municipal de Redução de Riscos de Manaus (PMRR)**: Produto 4 – Resumo Executivo. Manaus: Ministério das Cidades,

Secretaria Nacional de Periferias, Departamento de Mitigação e Prevenção de Riscos, 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2022 – Panorama**. 2022. Disponível em: https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/

MENDONÇA, M. B.; GREGORIO, L. T. D.; ALFRADIQUE, C. O. S. Diagnóstico e discussão sobre Planos Municipais de Redução de Riscos no Brasil. **Ambiente & Sociedade**, 26, e02072, 2023.

MOLINARI, D. C. **Vulnerabilidade ambiental em áreas de risco a voçorocamento em Manaus (AM)**. Tese de doutorado, Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Manaus, 2023.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB). **Mapeamentos geológico-geotécnicos voltados para a prevenção de desastres:** cartografia de risco geológico – atualização de mapeamento, Manaus-AM. Brasília: Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial, 2025.

UNISDR. **Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030.** Third UN World Conference, Sendai, Japan, 2015.

VIEIRA, A. F. S. G.; FROTA FILHO, A. B. Uma síntese dos estudos sobre voçorocas na Amazônia brasileira. In LOUREIRO, H. A. S.; GUERRA, A.J.T. (Orgs.). **Erosão em áreas tropicais** (pp. 45–74). Rio de Janeiro: Interciência, 2023.

Diagnóstico geomorfológico dos setores de risco a desastres na área urbana de Manaus/AM

Diogo Ferreira Ribeiro
Universidade Federal de Goiás
ribeirodiogogeo@gmail.com

Edgardo Latrubesse
Universidade Federal de Goiás
latrubesse23@gmail.com

1. Introdução

O crescimento populacional e a consequente expansão da infraestrutura urbana promovem alterações significativas no uso e na cobertura do solo, especialmente quando não acompanhadas por planejamento territorial adequado. Nessas circunstâncias, intensificam-se processos de degradação ambiental e ampliam-se as condições de vulnerabilidade socioambiental, resultando na formação de áreas suscetíveis a desastres (SMITH, 1992; LATRUBESSE, 2010).

O risco a desastres pode ser compreendido como a probabilidade de ocorrência de eventos físicos adversos — tais como inundações, deslizamentos e processos erosivos — incidindo sobre populações expostas e vulneráveis, produzindo perdas materiais, sociais e ambientais (NARVÁEZ et al., 2009; FERRAZ e VALADÃO, 2020). No contexto brasileiro, a recorrência desses eventos evidencia que a gênese dos desastres não se restringe a fatores hidrometeorológicos, mas está fortemente associada à dinâmica geomorfológica dos terrenos ocupados (LATRUBESSE, 2010).

Em Manaus, a ocorrência de deslizamentos, processos erosivos e inundações está diretamente relacionada às características geomorfológicas e geológicas do sítio urbano, particularmente à dissecação do relevo, à densidade de drenagem e à declividade das vertentes, frequentemente agravadas pela ocupação desordenada. Nesse sentido, o diagnóstico geomorfológico constitui instrumento fundamental para o planejamento urbano e para a formulação de políticas públicas de redução de riscos de desastres.

Este capítulo tem como objetivo avaliar o arcabouço geomorfológico do espaço urbano de Manaus, identificando os principais fatores físicos que condicionam a ocorrência de setores de risco a desastres ambientais urbanos (deslizamentos, processos erosivos e inundações), contribuindo diretamente para a elaboração do Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR).

2. Procedimentos metodológicos do diagnóstico geomorfológico

A análise geomorfológica do risco a desastres na área urbana de Manaus fundamentou-se inicialmente na identificação dos grandes sistemas geomorfológicos, a partir da metodologia proposta por Latrubesse e Carvalho (2006). Essa compartimentação regional permitiu reconhecer sistemas denudacionais e agradacionais por meio do fatiamento hipsométrico.

Devido a predominância de unidades denudacionais e baixa variabilidade de geoformas sistêmicas, optou-se por compartimentar o relevo tomando como unidade espacial de análise as **bacias hidrográficas urbanas**, por constituírem sistemas físicos abertos adequados ao planejamento territorial e à integração de variáveis geomorfológicas e hidrológicas. Foram analisadas 27 bacias hidrográficas, integrando-se as seguintes variáveis morfométricas para caracterização e definição dos compartimentos: declividade do terreno, densidade de drenagem (Dd) e índice de dissecação do relevo (IDR).

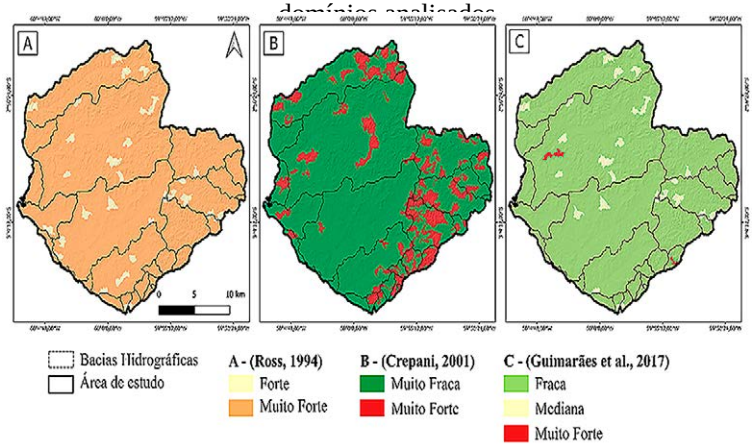
A declividade foi classificada segundo a EMBRAPA (1979), distinguindo terrenos planos (DCp), suave-ondulados (DCso), ondulados (DCo), forte-ondulados (DCfo), montanhosos (DCm) e forte-montanhosos (DCfm). A base altimétrica utilizada foi o Modelo Digital de Elevação FABDEM (HAWKER et al., 2022), a partir do qual se derivaram informações de hipsometria e declividade, integral hipsométrica e densidade de drenagem.

A densidade de drenagem foi calculada conforme Horton (1945) e classificada segundo Villela e Matos (1975). O índice de dissecação do relevo foi obtido a partir da relação entre dissecação vertical e horizontal, conforme Zavoianu (1985), sendo posteriormente reclassificado segundo as propostas de Ross (1994), Crepani (2001) e Guimarães et al. (2017). Como procedimentos complementares, realizaram-se análises de correlação linear de Pearson, elaboração de perfis topográficos e campanhas de campo para validação dos resultados.

3. Compartimentação geomorfológica e caracterização dos domínios de risco

A aplicação comparativa dos diferentes modelos de classificação do IDR (Figura 1) demonstrou que as propostas de Crepani (2001) apresentaram uma maior aderência às condições locais, em comparação as demais, reforçando a necessidade de adequação metodológica às especificidades geomorfológicas amazônicas. Com isso, observou-se que as bacias da porção S/SE/E da área urbana, apresentam maior grau de dissecação do terreno, enquanto a porção central se caracteriza por uma extensa área de dissecação muito fraca.

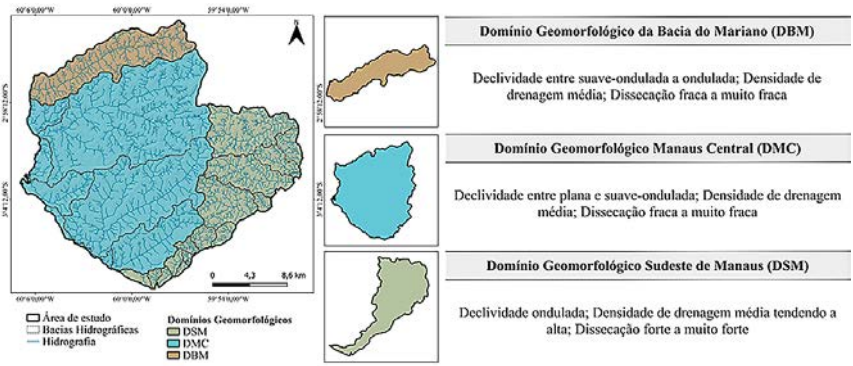
Figura 1. Padrões de dissecação do relevo (IDR) para os domínios analisados



Fonte: Os autores (2026).

O estado fisiográfico das unidades hidrográficas representadas pelo IDR e a integração das variáveis geomorfológicas permitiu a delimitação de três domínios geomorfológicos no espaço urbano de Manaus (Figura 2): (i) Domínio Geomorfológico Sudeste (DSM); (ii) Domínio Geomorfológico Central (DMC); (iii) Domínio Geomorfológico da Bacia do Mariano (DBM).

Figura 2. Domínios Geomorfológicos do sítio urbano de Manaus



Fonte: Os autores (2026).

Uma bacia constitui o Domínio Geomorfológico da Bacia do Mariano, correspondente à bacia do igarapé do Mariano, localizado na Zona Norte da cidade. Outras nove fazem parte do Domínio Geomorfológico Manaus Central, enquanto as 17 restantes pertencem ao Domínio Geomorfológico Sudeste de Manaus (Tabela 1).

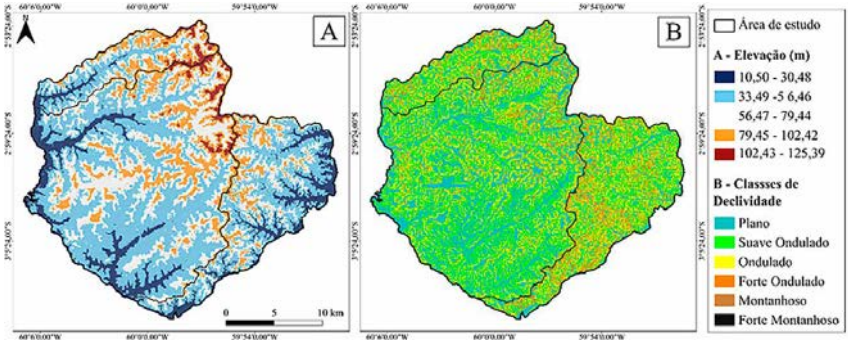
Tabela 1. Bacias hidrográficas do sítio urbano de Manaus

Domínio Geomorfológico	Nº	Bacias
DBM	1	Mariano
DMC	2	Educandos Quarenta
	3	Gigante
	4	Orla Rio Negro I
	5	Orla Rio Negro II
	6	Orla Rio Negro III
	7	São Raimundo
	8	Tarumã
	9	Tarumã Açu I
	10	Tarumã Açu II
DSM	11	Base Naval
	12	Bela Vista
	13	CEASA
	14	Complexo Solimões Amazonas I
	15	Complexo Solimões Amazonas II
	16	Ipiranga
	17	João Paulo
	18	Lago do Aleixo
	19	Mauá
	20	Mauazinho
	21	Ponta Pelada
	22	Puraquequara I
	23	Puraquequara II
	24	Refinaria
	25	SIDERAMA
	26	Vila Buriti
	27	Orla Rio Negro

Fonte: Os autores (2026).

A área de estudo possui uma amplitude altimétrica de aproximadamente 115 m, variando entre 11 m e 126 m (Figura 3). No que se refere às características da inclinação das vertentes, grande parte do território predominantemente apresenta relevo bastante plano. No entanto, há uma predominância de terrenos que variam de ondulados a fortemente ondulados no DSM e nas áreas de cabeceira das bacias do Passarinho e do Mindú, no DMC.

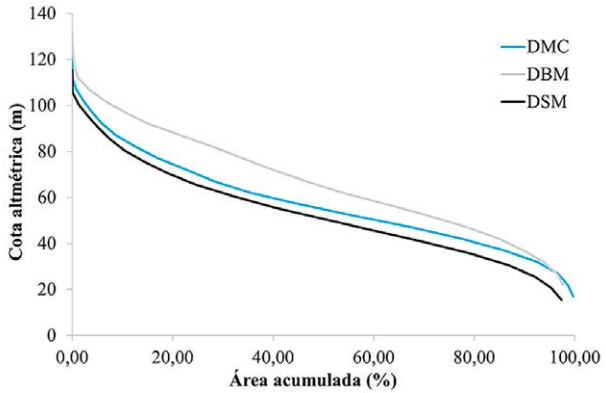
Figura 3. Características topográficas dos domínios geomorfológicos



Fonte: Os autores (2026).

A integral hipsométrica aponta que cerca de 42% da área total está situada entre 33,5 m e 56,5 m de altitude, enquanto apenas 2% se encontram acima de 102,43 m, conforme ilustrado na Figura 4. As curvas convexas do DSM e do DMC indicam um relevo erosionado até a cota de 60 m, caracterizado por gradientes altimétricos que aumentam abruptamente, enquanto abaixo dessa cota prevalecem padrões ainda em equilíbrio, comumente vulneráveis a processos denudacionais.

Figura 4. Curvas hipsométricas dos domínios geomorfológicos



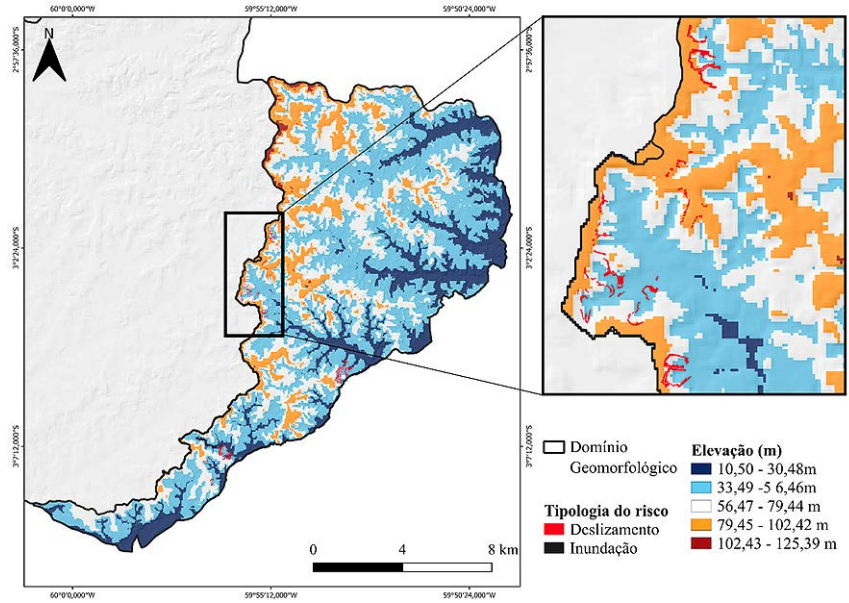
Fonte: Os autores (2026).

Esse padrão sugere a predominância de processos erosivos sobre os deposicionais, além da presença de vales bem encaixados, tornando essas áreas mais suscetíveis à ocorrência de movimentos de massa. Por outro lado, a curva do DBM apresenta um perfil mais suave e retilíneo, refletindo uma maior evolução dos processos de erosão dessa unidade e um maior equilíbrio entre os processos erosivos e deposicionais, bem como na variação do gradiente e no entalhamento das vertentes.

3.1 Domínio Geomorfológico Sudeste de Manaus (DSM)

O DSM concentra o maior número de bacias hidrográficas e apresenta os **mais elevados níveis de dissecação do relevo**, associados a vertentes íngremes e elevada densidade de drenagem, que tem sua gênese associada à soerguimento da plataforma continental durante o pleistoceno e movimentos neotectônicos transcorrentes (SARGES, SILVA e RICCOMINI, 2011; FRANZINELLI e IGREJA, 1988). Esse domínio registra a maior incidência de setores de risco geológico-geomorfológico, sobretudo relacionados a deslizamentos (Figura 5), erosão e voçorocamento.

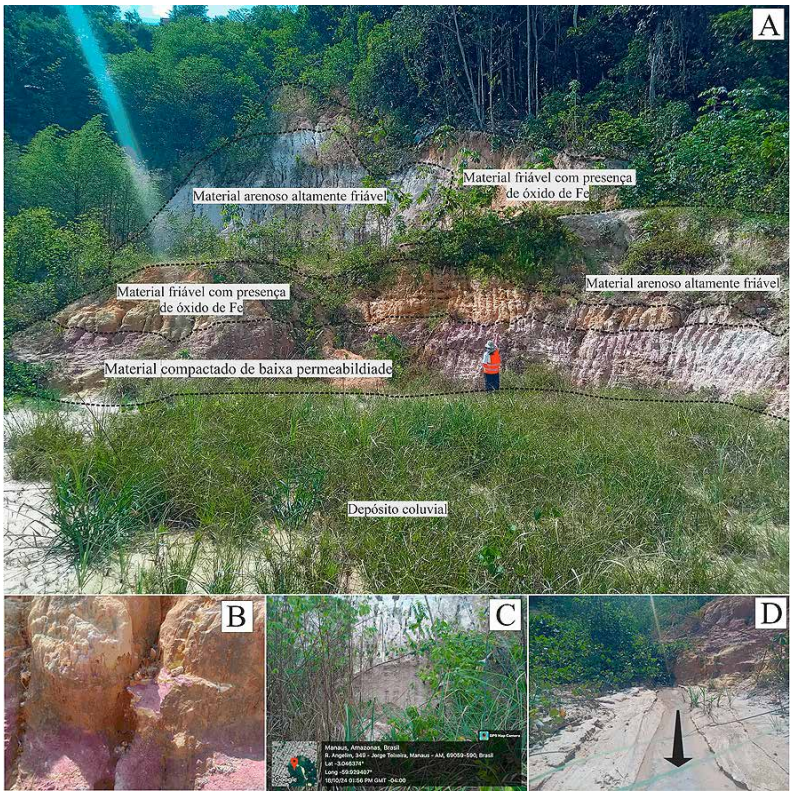
Figura 5. Distribuição dos setores de risco geológico/geomorfológico e amplitude altimétrica de do DSM



Fonte: Os autores (2026).

Verificou-se a possível influência de fatores estruturais ou da interface entre estratos morfossedimentares de características granulométricas e texturais distintas, associada à regulação hidrofísica no interior das camadas, contribuindo para a intensificação desses processos pela saturação do pacote sedimentar. Esses aspectos podem desencadear eventos como o registrado na comunidade Pingo d'Água (bairro Jorge Teixeira, Zona Norte), conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6. Vertente do vale na comunidade Pingo d'Água, próximo à cicatriz de movimento de massa ocorrido em 2022



A) Descrição da composição dos materiais da vertente; B) contato entre material arenoso permeável e argiloso impermeável da Formação Alter do Chão; C) Material arenoso encharcada e afloramento; D) Fluxo de água derivado do interior da vertente resultante da impossibilidade de percolação no material de composição argilosa.
Fonte: Os autores (2026).

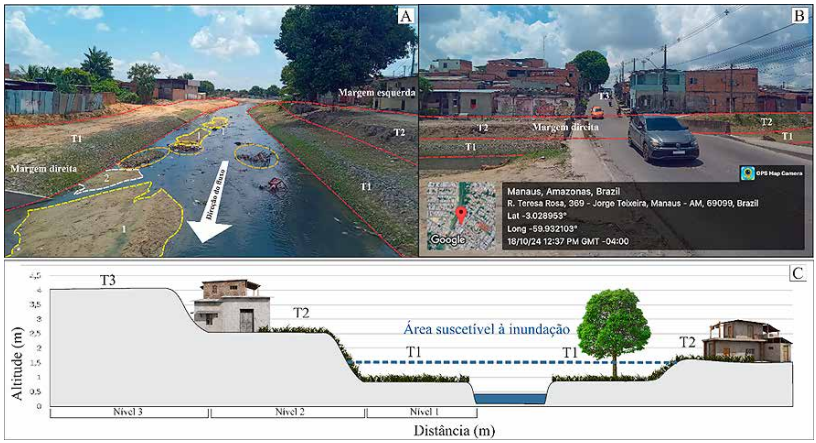
3.2 Domínio Geomorfológico Manaus Central (DMC)

O DMC caracteriza-se por bacias de maior extensão, relevo predominantemente plano a suave-ondulado e baixos níveis de entalhamento dos vales. Nesse domínio, predominam setores de risco associados a **inundações e enxurradas**, enquanto pontuais áreas de risco a **deslizamentos e erosões** ocorrem preferencialmente nas zonas de aporte das bacias dos igarapés Mindú e Tarumã.

A baixa densidade de drenagem, aliada à ampla conectividade dos canais, favorece a concentração de fluxos superficiais e a recorrência de alagamentos inundações, muitas vezes agravados por degradações antrópicas (Figura 7A) no canal fluvial e pela impermeabilização do solo urbano. Intervenções infraestruturais (Figura 7B) são responsáveis pelo remodelamento de feições morfológicas

através da criação de terraços fluviais em áreas onde o grau de entalhamento do canal é significativamente menor, e objetivam reduzir os impactos de inundações e alagamentos. Esse tipo de intervenção pode ser observado em um trecho do igarapé do Mindú, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7. Disposição do material aluvionar e formação dos terraços fluviais em diferentes níveis



A) 1 – Barra Central; 2 – Barra Lateral; 3 – Entulhos. B) Terraço 1 – T1; Terraço 2 – T2; Terraço 3– T3; C) Perfil esquemático da disposição dos terraços na área de intervenção.
Fonte: Os autores (2026).

Esta área se caracteriza por apresentar um segmento de três terraços aluvio-coluvionares, sendo os terraços T1 e T2 (Figura 7), modificados a partir de intervenções estruturais. De tal modo, a maneira como se dispõe o canal e a intervenção adotada tendem a influenciar na morfodinâmica e dinâmica hidráulica do fluxo do canal, como pela formação de feições deposicionais como barras arenosas laterais e centrais (STEVAUX e LATRUBESSE, 2017) e acúmulo de entulhos despojados antropicamente.

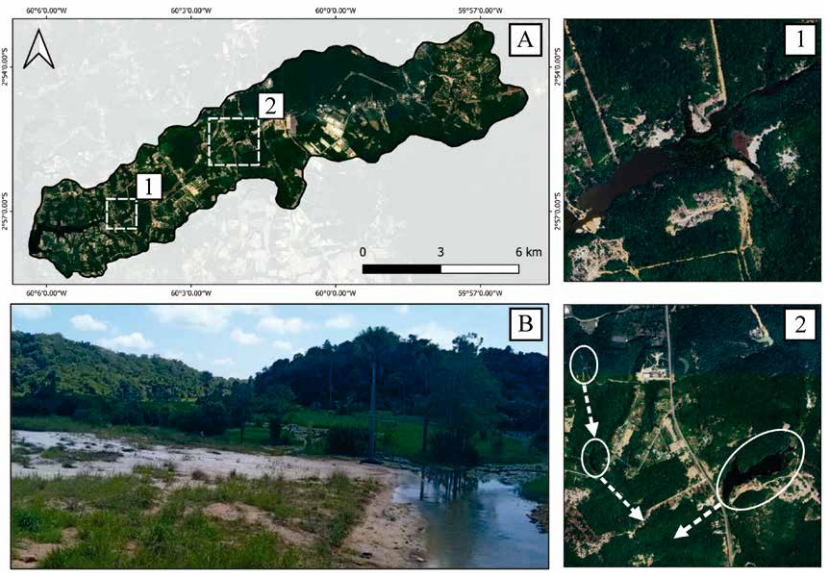
3.3 Domínio Geomorfológico da Bacia do Mariano (DBM)

O DBM corresponde exclusivamente à bacia do igarapé do Mariano (Figura 7), localizada na zona de expansão urbana. Apesar de apresentar densidade de drenagem moderada e relevo ondulado, este domínio não concentra setores expressivos de risco atualmente mapeados.

Entretanto, suas características geomorfológicas indicam elevada sensibilidade à ocupação futura, recomendando-se sua utilização como **área estratégica para contenção da expansão urbana**, por meio da implantação de unidades de conservação e políticas preventivas de uso do solo.

A Figura 8 ilustra as descontinuidades características dessa bacia, cujo canal principal sofre interferência do barramento hidráulico do rio Tarumã-Açu até seu médio curso. Embora apresente uma rede de drenagem superficial com adensamento moderado, também possui trechos desconexos e formações de zonas encharcadas, que podem estar relacionadas tanto à geomorfologia local quanto à implantação de sistemas viários.

Figura 8. Características hidrogeomorfológicas da bacia do igarapé do Mariano



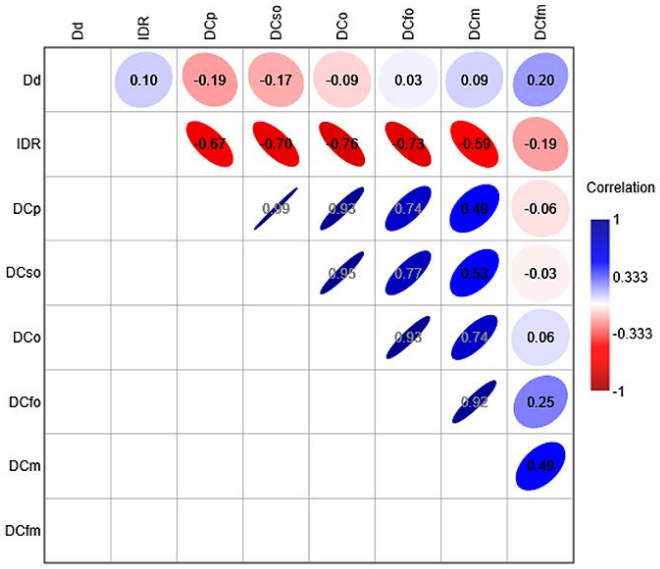
A) Domínio Geomorfológico da Bacia do Mariano (DBM), 1 – Zona de influência do barramento hidráulico do Rio Tarumã Açu; B) Zona de encharcamento, 2 – Descontinuidade de drenagem. Fonte: Os autores (2026).

4. Implicações geomorfológicas para a redução de riscos em Manaus

Os resultados evidenciam que a distribuição espacial dos setores de risco em Manaus está fortemente condicionada à morfologia do relevo, ao grau de dissecação das vertentes e à dinâmica da drenagem. Áreas com elevado entalhamento e declividades acentuadas concentram riscos de deslizamentos, enquanto terrenos planos e extensos favorecem processos de inundação.

As análises estatísticas indicam correlação entre altos valores de IDR, densidade de drenagem e declividades onduladas a montanhosas (Figura 9), configurando um cenário propício à ocorrência de movimentos de massa, especialmente em áreas de cabeceira e fundos de vale ocupados irregularmente.

Figura 9. Matriz de correlação das variáveis analisadas

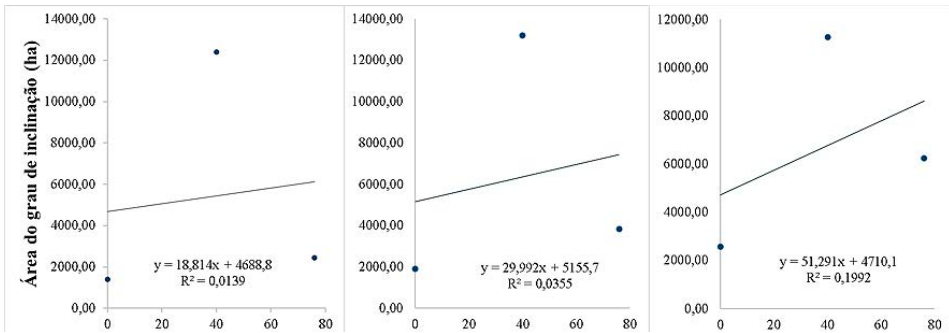


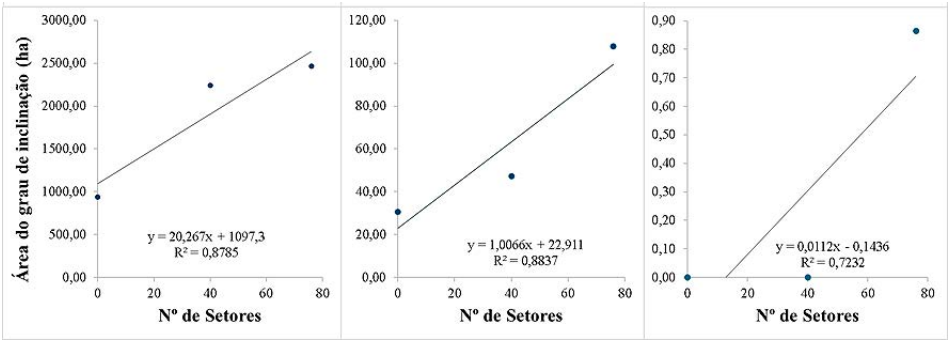
C

Fonte: Os autores (2026).

A Figura 10 apresenta a relação existente entre o número de setores de risco com grau de inclinação e tipologia da vertente, demonstrando que maior parte desses setores se localizam próximos ou em vertente de inclinação fortemente acentuada, assinalando a maior suscetibilidade a eventos de deslizamentos. Essa relação também ocorre de forma dispersa, com vertente planas a onduladas, sugerindo maior risco a inundações e enxurradas.

Figura 10. Correlação entre o total de setores de risco e a declividade do terreno





A) Correlação com DCp; B) DCso; C) DCo; D) DCfo; E) DCm; F) DCfm.
Fonte: Os autores (2026).

5. Considerações finais F

O diagnóstico geomorfológico realizado confirma que os desastres ambientais urbanos em Manaus resultam da interação entre processos naturais e formas de ocupação do território. O Domínio Sudeste de Manaus concentra os maiores níveis de risco geológico-geomorfológico, enquanto o Domínio Manaus Central é mais suscetível a inundações recorrentes. A Bacia do Mariano, por sua vez, configura-se como área prioritária para políticas preventivas.

Esses resultados constituem subsídios técnicos diretos para o **Plano Municipal de Redução de Riscos**, reforçando a importância da geomorfologia como base para o ordenamento territorial, a mitigação de desastres e a adaptação climática em cidades amazônicas.

Referências

CREPANI, E. Morfometria e evolução do relevo: aplicações a áreas de risco. **Geografia e Ensino**, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 87–96, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Súmula da X reunião técnica de levantamento de solos**. Rio de Janeiro, 1979.

FERRAZ, C. M. L. VALADAO, R. C. **Avaliação e mapeamento de riscos socioambientais: quem está vulnerável? Revista Vozes dos Vales**, v. 1, p. 1-23, 2020.

FRANZINELLI, E.; IGREJA, H. Utilização de sensoriamento remoto na investigação na área do baixo Rio Negro e Grande Manaus. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**, 36., 1990, Manaus. Anais... Manaus: Sociedade Brasileira de

Geologia, 1990. p. 641–648. (VI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR).

GUIMARÃES, F. S. et al. Uma proposta para automatização do índice de dissecação do relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia,** São Paulo, v. 18, n. 1, p. 155–167, 2017.

HAWKER, L. et al. A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed. **Environmental Research Letters**, v. 17, n. 2, p. 024016, 2022.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins. **Geological Society of America Bulletin,** v. 56, n. 3, p. 275–370, 1945.

LATRUBESSE, E. A Latin American Perspective on Geomorphologic Hazards and Related Disasters. *In*: **Natural Hazards and Human-Exacerbated Disasters in Latin America**. Cap. 21. Amsterdam, Elsevier. 2010

LATRUBESSE, E. M., CARVALHO, T. M. **Geomorfologia de Goiás e Distrito Federal.** Superintendência de Geologia e Mineração, Goiás, 2006.

NARVÉZ, L., LAVELL, A., ORTEGA, G. P. La gestión del riesgo de desastres: un enfoque basado en procesos. In: **La gestión del riesgo de desastres: Un enfoque basado en procesos**. 2009.

ROSS, J. L. S. Morfometria e análise geomorfológica de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 56, n. 2, p. 285–301, 1994.

SARGES, R. R., SILVA, T. M., RICCOMINI, C. Caracterização do relevo da região de Manaus, Amazônia central. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, n. 1, 2011.

SMITH, K. **Environmental hazards:** assessing risk and reducing disaster. London: Routledge, 1992.

STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, M. **Geomorfologia fluvial.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2017.

STRAHLER, A. N. Hypsometric analysis of erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, n. 11, p. 1117–1142, 1952.

VILLELA, T. E.; MATTOS, R. M. **Hidrologia aplicada.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975.

ZAVOIANU, I. **Morphometry of drainage basins.** Amsterdam: Elsevier, 1985.

Caracterização morfométrica das bacias hidrográficas do espaço urbano de Manaus

Thayná Rosário do Nascimento
Universidade Federal do Amazonas
thayrosafield@gmail.com

Naziano Pantoja Filizola Júnior
Universidade Federal do Amazonas
naziano.filizola@gmail.com

1. Introdução

Os riscos hidrológicos em áreas urbanas manifestam-se, predominantemente, por meio de inundações, alagamentos e enxurradas, processos frequentemente associados à interação entre eventos pluviométricos intensos, dinâmica fluvial e formas de ocupação do solo. Em bacias hidrográficas urbanizadas, esses processos podem ser condicionados tanto por fatores naturais quanto por intervenções antrópicas, sendo a morfometria da bacia um importante indicador das respostas hidrológicas do sistema (FRANCO e SANTO, 2015).

A caracterização morfométrica constitui ferramenta fundamental para a análise da vulnerabilidade hidrológica, sobretudo em contextos em que inexistem séries históricas consistentes de dados hidrométricos. Por meio da avaliação de parâmetros geométricos, topográficos e de drenagem, torna-se possível inferir o comportamento hidrológico das bacias e identificar áreas potencialmente suscetíveis a inundações, movimentos de massa e outros processos associados a desastres naturais.

No Brasil, os registros históricos indicam que as inundações e os alagamentos figuram entre as tipologias de desastres mais recorrentes, sendo responsáveis por parcela significativa dos danos materiais e do número de pessoas afetadas (UN, 2004; CEPED, 2012). Em Manaus, o mapeamento realizado pelo Serviço Geológico do Brasil identificou centenas de setores de risco associados a inundações urbanas, com forte concentração na Zona Leste da cidade (SGB, 2019), padrão também corroborado por levantamentos da Defesa Civil Municipal de Manaus (MANAUS, 2023).

Diante da ausência de uma rede hidrométrica urbana consolidada, este estudo adota a bacia hidrográfica como unidade de análise, utilizando parâmetros morfométricos como base para a avaliação da vulnerabilidade hidrológica no espaço urbano de Manaus. O capítulo contribui para a compreensão dos condicionantes físicos associados aos riscos hidrológicos na cidade.

2. Objetivos e procedimentos metodológicos

O presente capítulo tem como objetivo caracterizar morfometricamente as bacias hidrográficas do espaço urbano de Manaus, visando identificar aquelas com maior vulnerabilidade natural a processos hidrológicos adversos, como inundações e enxurradas.

De forma específica, busca-se:

- Identificar as principais bacias hidrográficas inseridas na área urbana de Manaus;
- Calcular e analisar parâmetros morfométricos representativos da dinâmica hidrológica;
- Classificar as bacias quanto à sua vulnerabilidade hidrológica relativa;

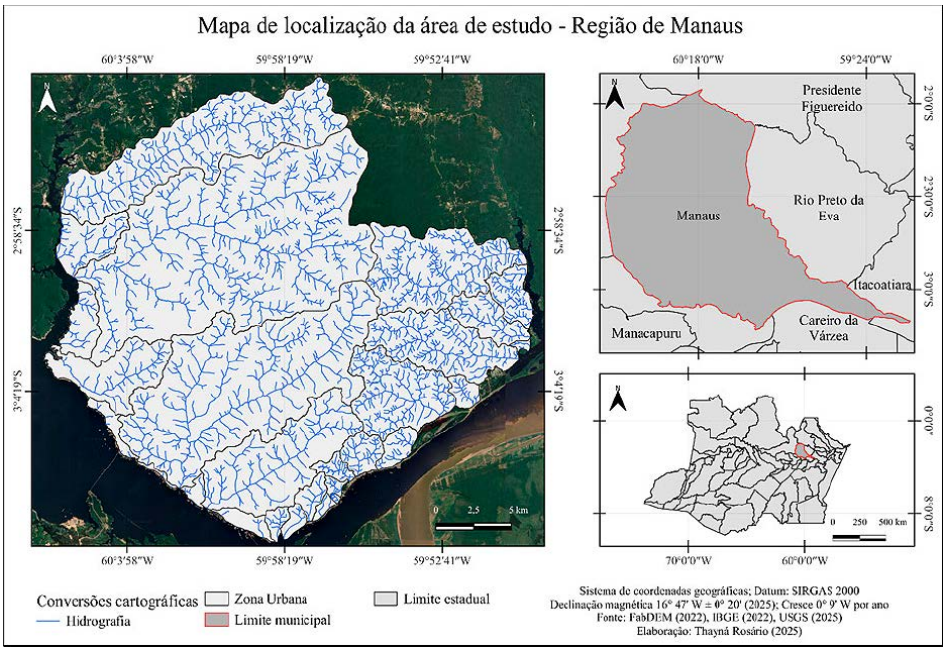
Foram analisadas 27 bacias hidrográficas urbanas, a partir de dados vetoriais de hidrografia e do Modelo Digital de Elevação FABDEM (HAWKER et al., 2022), processados em ambiente SIG (QGIS 3.38). A extração e o tratamento dos dados seguiram metodologias consagradas na literatura e critérios estabelecidos pelo Manual Técnico de Geomorfologia do IBGE (IBGE, 2009).

Foram considerados onze parâmetros morfométricos: coeficiente de compacidade (Kc), fator de forma (Ff), índice de circularidade (Ic), razão de elongação (Re), densidade de drenagem (Dd), razão de relevo (Rr), índice de rugosidade (Ir), densidade hidrográfica (Dh), extensão média do escoamento (Lm), índice de sinuosidade (Is) e razão de textura (T). Cada variável foi classificada em cinco níveis de vulnerabilidade relativa, variando de muito baixa a muito alta.

3. Caracterização geral das bacias hidrográficas urbanas de Manaus

As bacias hidrográficas analisadas apresentam heterogeneidade morfométrica, refletindo a diversidade geomorfológica do sítio urbano de Manaus (Figura 1). As áreas das bacias variam de menos de 1 km², como no caso da bacia do Siderama, até mais de 180 km², como a bacia do Tarumã, implicando respostas hidrológicas bastante distintas frente a eventos pluviométricos intensos.

Figura 1. Distribuição espacial das bacias hidrográficas na área urbana de Manaus



Fonte: Os autores (2026).

Bacias de menor área, especialmente aquelas localizadas às margens do rio Negro, encontram-se sob dupla influência: a precipitação local intensa e a sazonalidade fluvial do rio principal. Em contrapartida, bacias maiores e mais alongadas tendem a concentrar os efeitos desses fatores nas porções próximas às suas desembocaduras (Tabela 1).

A análise integrada dos parâmetros evidencia que as bacias situadas nas zonas Sul e Leste de Manaus apresentam, de modo geral, maior vulnerabilidade hidrológica natural, coincidindo espacialmente com áreas já reconhecidas como críticas em mapeamentos anteriores (SGB, 2019; Defesa Civil de Manaus, 2023).

Tabela 1. Valores para os parâmetros morfométricos nas 27 bacias hidrográficas da cidade de Manaus. Valores em vermelho significam bacias com valores muito altos, laranja valores altos, verde valores moderados, azul claro valores baixos e azul escuro valores muito baixos

Nome da Bacia	Kc	Ff	Ic	Re	Dd	Rr	Ir	Dh	Lm	Is	T
Base Naval	1,437	0,315	0,477	0,633	1,920	0,034	0,124	1,652	0,130	0,984	0,354
Bela Vista	1,782	0,209	0,310	0,515	2,964	0,008	0,284	5,092	0,084	1,017	4,372
Ceasa	1,635	0,743	0,368	0,972	3,198	0,054	0,224	9,677	0,078	1,017	1,845
Solimões Amazonas-1	1,241	1,204	0,640	1,238	2,351	0,043	0,198	4,830	0,106	1,018	2,325

Nome da Bacia	Kc	Ff	Ic	Re	Dd	Rr	Ir	Dh	Lm	Is	T
Solimões Amazonas-2	1,200	0,901	0,684	1,071	2,608	0,037	0,170	6,333	0,096	1,045	2,691
Educandos Quarenta	1,931	0,272	0,264	0,589	1,692	0,008	0,168	2,211	0,148	1,037	2,145
Gigante	2,077	0,251	0,228	0,565	1,533	0,009	0,132	1,845	0,163	1,052	1,172
Ipiranga	1,513	0,212	0,430	0,520	2,815	0,007	0,292	5,597	0,089	1,039	6,725
Joao Paulo	1,483	0,283	0,448	0,600	2,700	0,014	0,229	5,608	0,093	1,083	3,405
Lago do Aleixo	1,714	0,427	0,335	0,737	3,068	0,012	0,304	6,849	0,081	1,075	5,953
Mariano	1,810	0,142	0,301	0,426	2,335	0,005	0,259	3,760	0,107	1,065	4,808
Mauá	1,524	0,693	0,424	0,939	3,027	0,031	0,272	5,871	0,083	1,050	2,633
Mauazinho	1,803	0,423	0,303	0,734	3,540	0,029	0,270		0,071	1,157	2,993
Orla Rio Negro – 1	2,047		0,235	3,858	0,675	0,114	0,040	1,890	0,371	1,084	0,461
Orla Rio Negro – 2	2,397	8,469	0,171	3,283	0,503	0,148	0,021	4,271	0,497	1,139	0,418
Orla Rio Negro – 3	1,520	0,411	0,427	0,723	2,108	0,021	0,095	4,338	0,119	1,013	1,085
Orla Rio Negro – 4	1,588	3,019	0,391	1,960	0,712	0,062	0,049	1,352	0,351	1,051	0,458
Ponta Pelada	1,424	0,607	0,486	0,879	2,607	0,038	0,186	4,963	0,096	1,042	1,452
Puraquequara I	1,480	0,693	0,450	0,939	3,357	0,023	0,259	8,032	0,074	1,018	4,323
Puraquequara II	1,552	0,345	0,409	0,663	3,590	0,025	0,107	7,508	0,082	1,018	1,105
Refinaria	1,609	0,330	0,380	0,648	2,077	0,024	0,167	1,925	0,120	1,027	0,639
São Raimundo	1,998	0,292	0,247	0,610	1,719	0,005	0,172	2,131	0,145	1,045	3,215
Siderama	1,112	0,602	0,796	0,875	4,120	0,089	0,251		0,061	1,009	1,895
Tarumã	1,640	0,361	0,366	0,677	1,776	0,004	0,182	2,457	0,141	1,004	5,651
Tarumã Açú I	1,696	0,343	0,343	0,660	2,286	0,012	0,161	4,352	0,109	1,047	2,531
Tarumã Açú II	1,445	1,117	0,472	1,192	1,475	0,031	0,125	2,445	0,169	1,037	1,389
Vila Buriti	1,396	0,404	0,506	0,717	1,877	0,030	0,140	3,102	0,133	1,074	0,935

Fonte: Os autores (2026).

4. Análise dos parâmetros morfométricos e vulnerabilidade hidrológica

Os parâmetros relacionados à forma da bacia, como o coeficiente de compacidade, fator de forma, índice de circularidade e razão de elongação, indicam que bacias mais circulares e menos alongadas tendem a concentrar o escoamento superficial em intervalos de tempo mais curtos, favorecendo a ocorrência de inundações bruscas. Nesse conjunto, destaca-se a bacia do Siderama, que apresenta valores sistematicamente elevados de vulnerabilidade.

Os parâmetros associados à rede de drenagem, em especial a densidade de drenagem, densidade hidrográfica e extensão média do escoamento, revelam que bacias localizadas principalmente na Zona Leste e Sudeste possuem maior

concentração de canais por unidade de área, o que implica rápida resposta hidrológica durante eventos de chuva intensa.

Já os parâmetros relacionados ao relevo como a razão de relevo e índice de rugosidade, indicam que as bacias situadas em áreas de maior altimetria e maior variação topográfica tendem a apresentar escoamento mais acelerado e maior potencial de geração de processos erosivos e enxurradas.

A integração dos onze parâmetros permitiu hierarquizar as bacias quanto à vulnerabilidade hidrológica relativa (Tabela 2), evidenciando como mais críticas as bacias do Siderama, Mauazinho e Puraquequara I, cujos valores morfométricos indicam maior propensão à ocorrência de inundações e alagamentos.

Tabela 2. Classificação do grau de vulnerabilidade hidrológica para as principais bacias suscetíveis a inundações em Manaus. Valores em vermelho significam bacias com valores muito altos, laranja valores altos, verde valores moderados, azul claro valores baixos e azul escuro valores muito baixos

Posição	Bacia	Kc	Ff	Ic	Re	Dd	Rr	Ir	Dh	Lm	Is	T
1	Siderama	1,11	0,60	0,80	0,88	4,12	0,09	0,25	14,17	0,06	1,01	1,90
2	Mauazinho	1,80	0,42	0,30	0,73	3,54	0,03	0,27	11,25	0,07	1,16	2,99
3	Puraquequara I	1,48	0,69	0,45	0,94	3,36	0,02	0,26	8,03	0,07	1,02	4,32

Fonte: Os autores (2026).

5. Implicações para a Redução de Riscos

Os resultados obtidos demonstram que a análise morfométrica constitui ferramenta estratégica para subsidiar planos e ações públicas para reduzir risco de desastres, especialmente em contextos de escassez de dados hidrométricos. A identificação das bacias mais vulneráveis permite direcionar ações prioritárias de monitoramento, planejamento urbano, controle da ocupação do solo e implementação de medidas estruturais e não estruturais de mitigação de riscos.

A coincidência espacial entre as bacias mais vulneráveis e os setores de risco já mapeados reforça a consistência da metodologia adotada e sua aplicabilidade à gestão de riscos socioambientais em Manaus.

6. Considerações finais

A caracterização morfométrica das bacias hidrográficas urbanas de Manaus evidenciou elevada diversidade de respostas hidrológicas, diretamente relacionadas à forma das bacias, à densidade da rede de drenagem e às características do relevo.

Do ponto de vista natural, as bacias localizadas nas zonas Sul e Leste da cidade apresentam maior vulnerabilidade hidrológica, com destaque para as ba-

cias do Siderama, Mauazinho e Puraquequara I. Esses resultados corroboram mapeamentos institucionais prévios e reforçam a necessidade de políticas públicas orientadas pela lógica da bacia hidrográfica.

O estudo confirma a relevância da morfometria como subsídio técnico essencial para a redução de riscos de desastres, contribuindo para o ordenamento territorial e para a adaptação climática em cidades amazônicas.

Referências

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES – CEPED. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010**: volume Brasil. Florianópolis: CEPED/UFSC, 2012.

MANAUS. Secretaria Municipal de Segurança Pública e Defesa Social. **Relatório de áreas de risco**. Manaus: SEMSEG/SEPDEC, 2023.

FRANCO, A. C. V.; SANTO, M. A. D. Contribuição da morfometria para o estudo das inundações na sub-bacia do rio Luís Alves/SC. **Mercator,** Fortaleza, v. 14, n. 3, p. 151–167, 2015.

HAWKER, L. et al. A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed. **Environmental Research Letters**, v. 17, n. 2, p. 024016, 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual técnico de geomorfologia.** 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – SGB. **Mapeamento das áreas de risco geológico (inundação e movimentos de massa) na área urbana de Manaus.** Manaus: SGB, 2019.

UNITED NATIONS – UN. **Guidelines for reducing flood losses.** Geneva: United Nations, 2004.

Análise preliminar da vulnerabilidade ambiental a deslizamentos em Manaus: uma abordagem com lógica Fuzzy[1]

João Cândido André da Silva Neto
Universidade Federal do Amazonas
joaocandido@ufam.edu.br

Rogério Ribeiro Marinho
Universidade Federal do Amazonas
rogeo@ufam.edu.br

1. Introdução

Desde a década de 1970, a floresta Amazônica tem passado um processo gradativo e desigual de desmatamento, e aumentado continuamente desde 1991, variando de acordo com as mudanças relacionadas às forças econômicas, marcado pela substituição das áreas de florestas por áreas com atividades agropecuárias e de exploração madeireira e expansão das cidades (FEARNSIDE, 2005; 2006).

A transformação de sistemas naturais em sistemas antrópicos, pode resultar em diversos problemas de ordem socioambiental, como perda de biodiversidade, intensificação dos processos erosivos, surgimento de áreas de risco à população residente das periferias, poluição das águas, assoreamento dos rios, entre outros relacionados aos processos de apropriação da natureza.

Assim, o uso da terra pode ser entendido como um importante elemento na alteração das paisagens naturais, pois permite analisar o espaço geográfico sob uma dimensão que contempla os elementos naturais e tecnificados, socioeconômicos e culturais.

Em Manaus a capital do Estado do Amazonas, assim como as principais metrópoles brasileiras, tem-se observados nas últimas três décadas crescimento populacional exponencial (IBGE, 2024), associado a um intenso processo de expansão urbana, e consequentemente ocupação de novas áreas para habitação, que muitas vezes ocorrem de modo inadequado, não respeitando as limitantes físico-ambientais, associados à ausência de infraestrutura adequada e saneamento básico.

Destaca-se a importância de Manaus pela sua função na hierarquia urbana no cenário regional, nacional, global, devido ao intenso fluxo de pessoas e bens, que circulam aeroportos, rodovias e rios, ligados ao polo industrial e à zona de livre comércio de Manaus (OLIVEIRA, 2003; SOUZA, 2016).

1 Resultados deste capítulo foram apresentados no XV Simpósio Nacional de Geomorfologia (Natal, 2025).

Cabe enfatizar ainda os problemas recorrentes das ocupações, muitas vezes em áreas de risco de desastres, observa-se periodicamente episódios de movimentos de massa normalmente por deslizamentos, principalmente durante período chuvoso, que muitas vezes resultam em tragédias anunciadas, ocasionando perda de vidas de cidadãos em situação de vulnerabilidade socioeconômica. Conforme noticiado no início do ano de 2025 pelos veículos de comunicação (MATTOS, 2025), entre 2020 e 2025, treze pessoas perderam a vida na cidade de Manaus, em decorrência de movimentos de massas em áreas de risco, entre elas, sete crianças.

O crescimento das cidades, o avanço do desmatamento, e apropriação da natureza pode levar à situação de perturbações em ambientes naturais, como as paisagens Amazônicas, que constituem habitats naturais vulneráveis, cujo processo de resiliência das comunidades biológicas muitas vezes são dificultadas pela perda de suas características originais, e sua recuperação pode levar séculos, ou não ocorrer naturalmente, devido à ruptura de sua dinâmica natural (ALBAGLI, 2001).

Nesse contexto, a vulnerabilidade ambiental pode ser compreendida ao analisarmos as rupturas intensificadas pela ação humana sobre a natureza. Esse processo resulta em uma reorganização das formas espaciais que se concretizam na paisagem, com potencial para afetar diretamente as comunidades que nela habitam.

Segundo o CEMADEN (2022), as atividades humanas como cortes em talude, aterros, depósitos de lixo, modificações na drenagem, retirada de cobertura vegetal e ocupações inadequadas, entre outras, têm aumentado a vulnerabilidade das encostas para a formação desses processos de deslizamentos.

Assim, ao analisarmos a cidade de Manaus, que tem uma população residente de 2.063.689 pessoas, onde encontra-se a quarta maior favela do Brasil segundo dados do Censo do IBGE (2025), cabe destacar que na capital amazonense, associado ao crescimento populacional nas últimas três décadas, tem se verificado um intenso processo de expansão urbana, e consequentemente ocupação de novas áreas para habitação, onde observa-se episódios de movimentos de massa, durante período chuvoso.

O presente trabalho teve como objetivo analisar a vulnerabilidade ambiental do espaço urbano à deslizamentos em Manaus. A vulnerabilidade ambiental pode ser definida como a probabilidade de áreas apresentarem diferentes graus de suscetibilidade a deslizamentos frente o processo de ocupação humana, considerando a configuração atual da paisagem e a interação de fatores como relevo dissecado, ocupação humana precária, ausência de infraestrutura, alta pluviosidade, erodibilidade dos solos e suscetibilidade litológica.

Nessa perspectiva, a vulnerabilidade ambiental aqui é entendida como prováveis áreas que apresentam maior ou menor grau, de acordo com as configurações atuais dessas paisagens, em desencadear episódios, ao longo do tempo, de

inundações ou aos movimentos de massa como deslizamento. As interações das variáveis como o relevo fortemente dissecado que associado à ocupação humana com precária e/ou ausência de infraestrutura, associados e aos altos índices pluviométricos proporciona um maior escoamento superficial, e associado à erodibilidade dos solos e suscetibilidade litológicas, podem desencadear o aceleramento dos processos morfodinâmicos, como os processos erosivos de diferentes intensidades e movimentos de massa.

A vulnerabilidade da paisagem pode ser compreendida como a possibilidade para análise de rupturas potencializadas pela atuação da sociedade na natureza, tendo como resultado uma nova organização das formas espaciais que se materializam na paisagem, podendo impactar diretamente as populações que ali vivem (SILVA NETO e ALEIXO, 2016).

Compreende-se que vulnerabilidade da paisagem com a conjuntura de uma determinada área, associada às perturbações das condições específicas, normalmente podem ser relacionadas ao processo de apropriação da natureza por meio do uso da terra, assim, refletindo na alteração das qualidades iniciais dos atributos da paisagem (SILVA NETO, 2014).

2. Metodologia

2.1 Área de Estudo

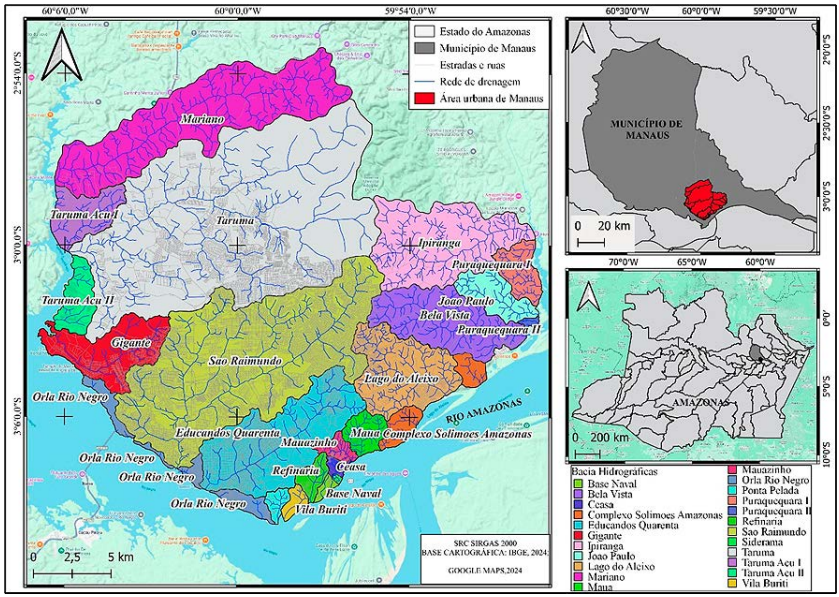
O município de Manaus tem uma população residente de 2.063.689 pessoas, aproximadamente 99% da população de Manaus reside na área urbana, e 1.151.828 de pessoas morando em favelas, cerca de 55% da população, segundo dados do Censo de 2022 do IBGE, informações divulgadas em 2025. Destaca-se ainda que em Manaus apresenta 62,4% de domicílios apresentam esgotamento sanitário, 23,9% de domicílios urbanos em vias públicas com arborização e 26,3% de domicílios urbanos em vias públicas com urbanização adequada (IBGE, 2025).

A área de estudo expressa representativas configurações das paisagens com suas dinâmicas ambientais, potencialidades e problemas infraestruturais do ponto de vista da implementação de políticas públicas e intensificação dos tipos de uso do solo urbano.

A cidade de Manaus está inseridas em região de clima equatorial em que apresenta precipitações de 2.300 mm em média por ano (ALEIXO, et al. 2023), situam-se em unidade geomorfológicas da Planície Amazônica e Planalto Dissecado dos rios Negro-Uatumã, assentadas em unidades litológicas da Formação Alter do chão, que caracterizam-se por arenitos, siltitos e conglomerados, sendo os arenitos avermelhados e esbranquiçados, demonstrando granulometria fina a média, com frações micro conglomeráticas, Aluviões Holocênicos, que carac-

terizam-se por depósitos inconsolidados das acumulações mais expressivas que ocorrem nas planícies dos rios maiores, e Cobertura Detrito-Laterítica Paleogênica, constituída respectivamente do topo para base de zona argilosa caulinítica, zona bauxítica com concreções e lentes gibsíticas, zona ferruginosa concrecionária, zona pisolítica nodular; capeamento argiloso (Latossolos), no topo (IBGE, 2024) (Figura 1).

Figura 1. Localização da área de estudo



Fonte: Os autores (2026).

Quanto aos tipos de solos caracterizam-se por apresentar predominantemente Latossolos-amarelo em ambas as bacias, diferenciando-as pela ocorrência de Neossolos Flúvico e Neossolo Quartzarênico e Gleissolos Háplicos (IBGE, 2024).

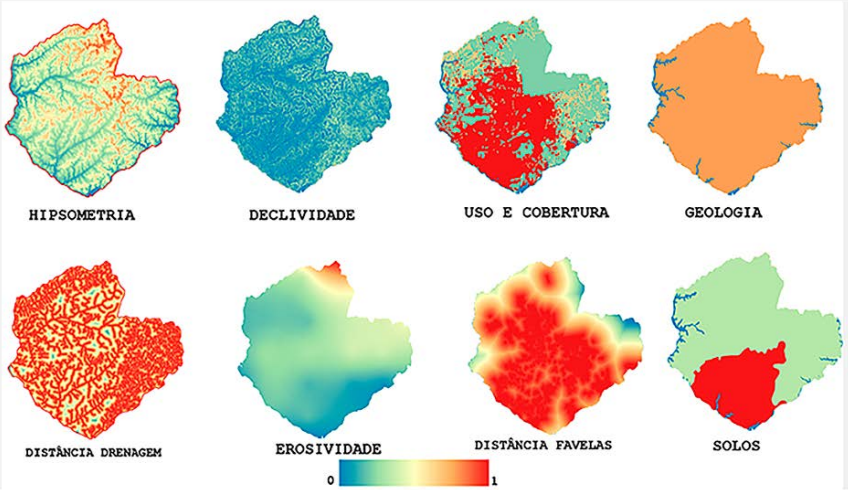
2.2 Materiais e Métodos

A aquisição de dados utilizou o modelo digital de elevação (MDE) FABDEM, que resultaram em dados morfométricos sobre altitude e declividade, além de outras informações morfométricas das bacias.

A caracterização físico-ambiental da área de interesse, foi realizada a partir de consulta e compilação de material bibliográficos da Embrapa (2006), em banco de dados disponíveis do IBGE (2024) e Mapeamento Geológico do Estado do Amazonas (CPRM, 2004). As informações geológicas foram compiladas do Mapeamento Geológico do Estado do Amazonas (CPRM, 2004), enquanto os dados

pedológicos solos consultados e compilados dos Bancos de ados de Informações Ambientais (Bdia) do IBGE (2024) (Figura 2).

Figura 2. Variáveis utilizadas na matriz de vulnerabilidade à deslizamento



VARIÁVEL	FONTE DOS DADOS	PROCESSAMENTO
USO DA TERRA	MAPBIOMAS COLEÇÃO 9 (2024)	RECLASSIFICAÇÃO E NORMALIZAÇÃO DOS DADOS
HIPSOMETRIA	FABDEM COPERNICUS (2024)	RECLASSIFICAÇÃO E NORMALIZAÇÃO DOS DADOS
DECLIVIDADE	FABDEM COPERNICUS	ALGORITIMO DE DECLIVIDADE E NORMALIZAÇÃO DOS DADOS
DISTANCIA DE DRENAGEM	FABDEM COPERNICUS	DISTANCIA EUCLIDIANA E LÓGICA FUZZY DE PERTINÊNCIA DECRESCENTE
DISTANCIA DE FAVELA	CENSO IBGE (2025)	DISTANCIA EUCLIDIANA E LÓGICA FUZZY DE PERTINÊNCIA DECRESCENTE
EROSIVIDADE	CHIRPS 2.0, DADOS DE 1993-2023 (2024)	CALCULO DE MÉDIAS MENSAIS E TOTAIS ANUAIS E IMPLEMENTAÇÃO DE EQUAÇÃO DE EROSIVIDADE ()
SOLOS	BDIA – IBGE (2024)	RECLASSIFICAÇÃO E NORMALIZAÇÃO DOS DADOS
GEOLOGIA	BDIA – IBGE (2024)	RECLASSIFICAÇÃO E NORMALIZAÇÃO DOS DADOS

Fonte: Os autores (2026).

Quanto às variáveis climáticas foi elaborado o índice de erosividade das chuvas a partir dos dados CHIRPS (Climate Hazards group Infrared Precipitation with Stations), que constituem conjuntos de dados de precipitação obtidos a partir de observações locais e remotas, em que se calculou para área de interesse as médias mensais e anuais de precipitação, e posteriormente implementada as Equações (Figura 3) propostas por Barbosa, Blanco e Melo (2015) conforme Lima et al. (2023). Onde:

$$EI = 25{,}31 * \left(\frac{r^2}{P}\right) + 496{,}56 \qquad (1)$$

ONDE:

EI= média mensal do índice de Erosividade (MJ/ha.mm);

r = média mensal de precipitação (mm);

P = média anual de precipitação, (mm).

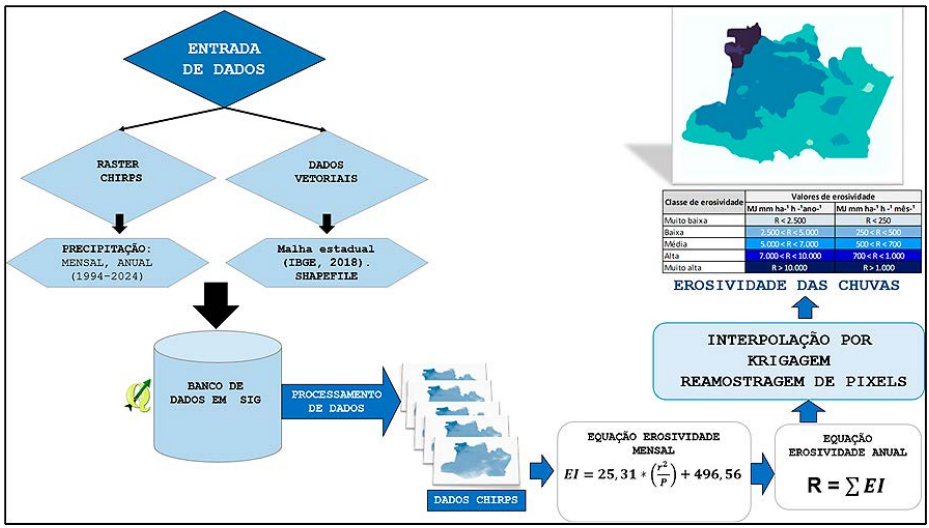
Para calcular a erosividade anual (R), somaram-se os índices mensais ao longo da série histórica 1993 a 2023 (Equação 2). Onde:

$$R = \sum EI \qquad (2)$$

ONDE: R = erosividade da chuva (MJ/ha.mm/ano);

EI = média mensal do índice de Erosividade.

Figura 3. Fluxograma para elaboração da erosividade das chuvas



Fonte: Os autores (2026).

Para se identificar os tipos de usos da terra e cobertura vegetal. Foram utilizados dados de uso da terra da plataforma do MapBiomas Coleção 8. Após o processamento e análise dos dados de uso da terra, foram implementadas a análise espacial de dados geográficos a partir da ponderação das classes de cada variável, posteriormente implementada a álgebra de mapas, integrando as variáveis analisadas para compor uma matriz de vulnerabilidade da paisagem, adaptada da metodologia de Crepani et al. (2008).

A ponderação das variáveis no caso da geologia, foi considerado grau de coesão das rochas, quanto aos tipos de solos é considerado a capacidade de um determinado solo resistir à erosão (CREPANI, et al. 2008). Para as variáveis do relevo foram consideradas declividade e altitude, em que se considera a variação

altimétricas e inclinação da vertente na capacidade em favorecer o escoamento superficial ou a infiltração da água, possibilitando remoção ou acúmulo de detritos (SILVA NETO, 2013).

As matrizes de vulnerabilidade à perda de solos resultarão da integração de variáveis de cenários de uso da terra, geologia, solos, erosividade e relevo, elaboradas a partir da análise espacial em Sistema de Informações Geográfica, utilizando software QGIS 3.26. Para isso, foram implementadas álgebra de mapas utilizando operadores Gamma (γ) por meio do método Fuzzy, uma ferramenta que permite organizar e estruturar de forma racional as correlações de variáveis (CÂMARA, et al., 2001).

É importante destacar o processo de validação dos dados observados por meio de incursões em campo, principalmente no que tange o uso da terra e os graus de vulnerabilidade, que consistiu em visitas em áreas pilotos que foram definidas no decorrer da pesquisa.

Quanto à variável climática foi considerada a erosividade das chuvas em que se estabelece graus de vulnerabilidade conforme a avaliação numérica do valor médio anual da chuva do local, expresso em MJ $mm.ha^{-1}.h.^{-1}ano^{-1}$, em que é estabelecida Vulnerabilidade Muito Baixa: <2500; Baixa: 2500-5000; Moderada: 5000-7000; Alta: 7000-10000; e Muito Alta: > 10000 (CARVALHO, 1994; SILVA NETO e ALEIXO, 2020). O uso da terra e cobertura vegetal, considerou-se a intensidade das intervenções antrópicas e de densidade, presença ou não de cobertura vegetal (Quadro 1).

Quadro 1. Ponderação das variáveis

PONDERAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA VULNERABILIDADE AMBIENTAL AO DESLIZAMENTO		
GEOLOGIA	**GRAU VULNERABILIDADE**	**CLASSE**
Formação Alter do Chão	0,80	Alta
Depósito Aluvionares	1,00	Muito Alta
SOLOS	**GRAU VULNERABILIDADE**	**CLASSE**
Latossolo	0,60	Moderada
Neossolo	1,00	Muito Alta
EROSIVIDADE	**GRAU VULNERABILIDADE**	**CLASSE**
R>10000 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}	1,00	Muito Alta
R<10000 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}	0,80	Alta
DECLIVIDADE	**GRAU VULNERABILIDADE**	**CLASSE**
> 45%	1,00	Muito Alta
20-45%	0,80	Alta
8-20%	0,60	Moderada

PONDERAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA VULNERABILIDADE AMBIENTAL À INUNDAÇÃO		
GEOLOGIA	**GRAU VULNERABILIDADE**	**CLASSE**
Formação Alter do Chão	0,80	Alta
Depósito Aluvionares	1,00	Muito Alta
EROSIVIDADE	**GRAU VULNERABILIDADE**	**CLASSE**
R>10000 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}	1,00	Muito Alta
R<10000 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}	0,80	Alta
DECLIVIDADE	**GRAU VULNERABILIDADE**	**CLASSE**
> 45%	0,20	Muito Baixa
20-45%	0,40	Baixa
8-20%	0,60	Moderada
3-8 %	0,80	Alta
< 3%	1,00	Muito Alta
HIPSOMETRIA	**GRAU VULNERABILIDADE**	**CLASSE**

PONDERAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA VULNERABILIDADE AMBIENTAL AO DESLIZAMENTO		
3-8 %	0,40	Baixa
< 3%	0,20	Muito Baixa
HIPSOMETRIA	GRAU VULNERABILIDADE	CLASSE
< 100 m	1,00	Muito Alta
80-100 m	0,80	Alta
60-80 m	0,60	Moderada
30-60 m	0,40	Baixa
> 30 m	0,20	Muito Baixa
USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL	GRAU VULNERABILIDADE	CLASSE
Área não Vegetada	1,00	Muito Alta
Agropecuária	0,80	Alta
Vegetação Herbácea e Arbustiva	0,60	Moderada
Floresta	0,20	Muito Baixa
Corpo D'água	0,10	Muito Baixa

PONDERAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA VULNERABILIDADE AMBIENTAL À INUNDAÇÃO		
< 100 m	0,20	Muito Baixa
80-100 m	0,40	Baixa
60-80 m	0,60	Moderada
30-60 m	0,80	Alta
> 30 m	1,00	Muito Alta
USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL	GRAU VULNERABILIDADE	CLASSE
Área não Vegetada	1,00	Muito Alta
Agropecuária	0,80	Alta
Vegetação Herbácea e Arbustiva	0,60	Moderada
Floresta	0,20	Muito Baixa
Corpo D'água	0,90	Muito Alta

Fonte: Os autores (2026).

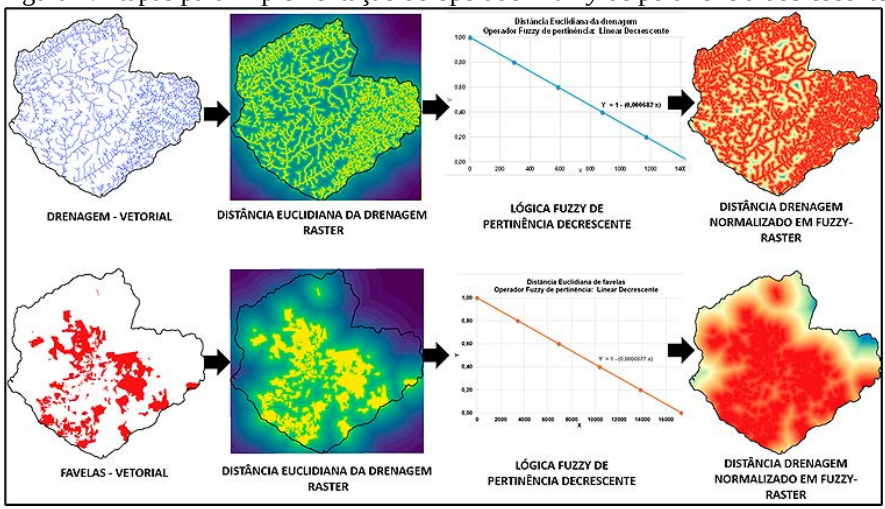
Para as distâncias euclidianas considerou-se quanto mais próximo do alvo analisado, seja canais de drenagem ou habitações com favelas, maior o grau de vulnerabilidade ambiental ao fenômeno analisado, seja ele deslizamento, inversamente, as áreas mais distantes representam ambientes menos vulneráveis, ou com grau de vulnerabilidade baixa ou muito baixa.

A escolha da variável de áreas com favelas, foi considerado por esse tipo de moradia, além de revelar a precariedade das condições dos domicílios, pode indicar que os condicionantes antrópicos como esgotamento sanitário inadequado, presença de fossas rudimentares e ausência de galerias pluviais, podem favorecer a concentração de fluxos de água nas encostas e favorecer a ocorrência de deslizamentos e inundações (IBGE, 2018).

Para expressar a relação topológica de distâncias, utilizou-se a distância euclidiana e a implementação de lógica Fuzzy, pode ser definido com o valor '1.0', quando as distâncias de um determinado fenômeno, quanto mais próximo do fenômeno, a partir da distância euclidiana, maior a compatibilidade em que condiz com a hipótese de maior grau de vulnerabilidade ambiental ao fenômeno analisado, nesse caso deslizamento, inversamente, as áreas com valores próximos '0.0' representa ambientes estáveis de acordo com a variável analisada.

Na figura a seguir (Figura 4), observa-se a pertinência linear decrescente paras distâncias euclidianas às redes de drenagens e habitações definidas como favelas ou comunidades urbanas.

Figura 4. Etapas para implementação do operador *Fuzzy* de pertinência decrescente



Fonte: Os autores (2026).

Após o processamento e análise dos dados, se implementou as álgebras de mapas utilizando-se o método *Fuzzy* com operador Gamma ($\gamma = 0.8$), para realizar a integração das variáveis analisadas, que resultou na matriz de vulnerabilidade ambiental.

3. Resultados e Discussão

A transformação de sistemas naturais em sistemas antropizados, pode resultar em diversos problemas de ordem socioambiental, como perda de biodiversidade, intensificação dos processos erosivos, surgimento de áreas de risco à população residente das periferias, poluição das águas, assoreamento dos rios, entre outros relacionados aos processos de apropriação da natureza.

A análise da Vulnerabilidade Ambiental a deslizamentos nas bacias hidrográficas urbanas de Manaus, foi dividida em quatro classes: Muito Baixa, Baixa, Moderada, Alta e Muito Alta, em que foram atribuídos valores com intervalos entre 0.0 e 0.2; 0.2 a 0.4; 0.4 a 0.6; 0.6 a 0.8; e 0.8 a 1.0, respectivamente.

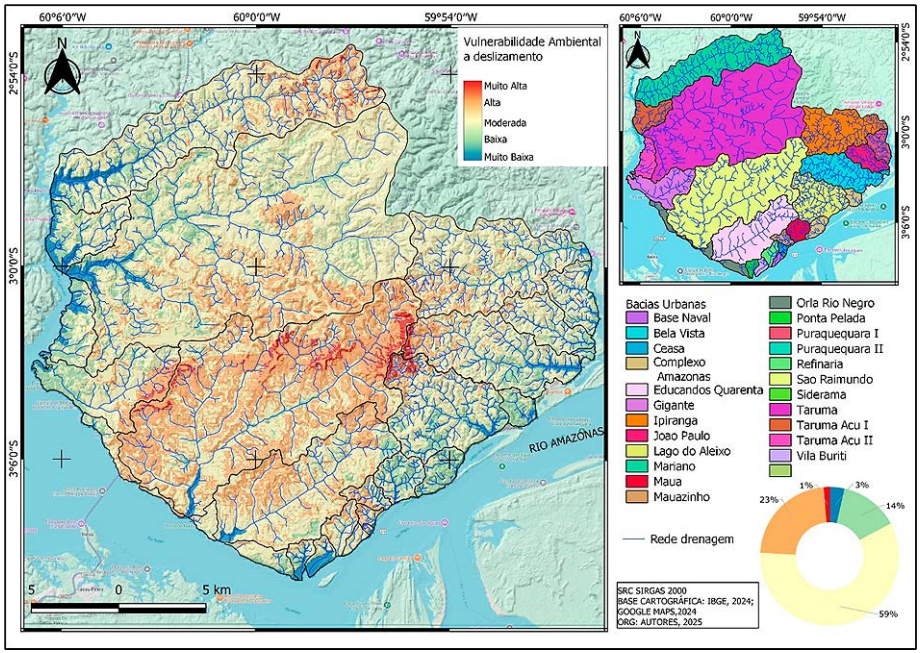
Quanto à Vulnerabilidade Ambiental a deslizamentos, verifica-se o predomínio do grau de Vulnerabilidade Moderada, compreendendo mais da metade da área estudada, cerca de 59%. Isso sugere que uma parte significativa de Manaus apresenta grau de Vulnerabilidade que exigem atenção e medidas de prevenção, visto que esses graus de vulnerabilidade apresentam um estágio de transição entre vulnerabilidade baixa e alta.

Áreas de alta vulnerabilidade são observadas em 23% das áreas das bacias hidrográficas de Manaus, são associadas a Latossolos sobre a Formação Alter

do chão, com erosividade das chuvas superiores a 10.000 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}, altitudes acima de 80 metros e declividades que podem superar 20%. Essas áreas são fortemente ocupadas por áreas classificadas pelo IBGE (2024) por Favelas e comunidades urbanas.

Áreas de Muito Alta Vulnerabilidade são observadas em aproximadamente 1% das áreas das bacias hidrográficas de Manaus, distribuídas entre as bacias do São Raimundo, Lago do Aleixo, Mariano Gigante e Bela Vista. Este grau de vulnerabilidade apresenta característica semelhantes da Vulnerabilidade Alta, entretanto, apresenta uma relação topológica direta com as ocorrências das áreas de risco à deslizamentos. (Figura 5).

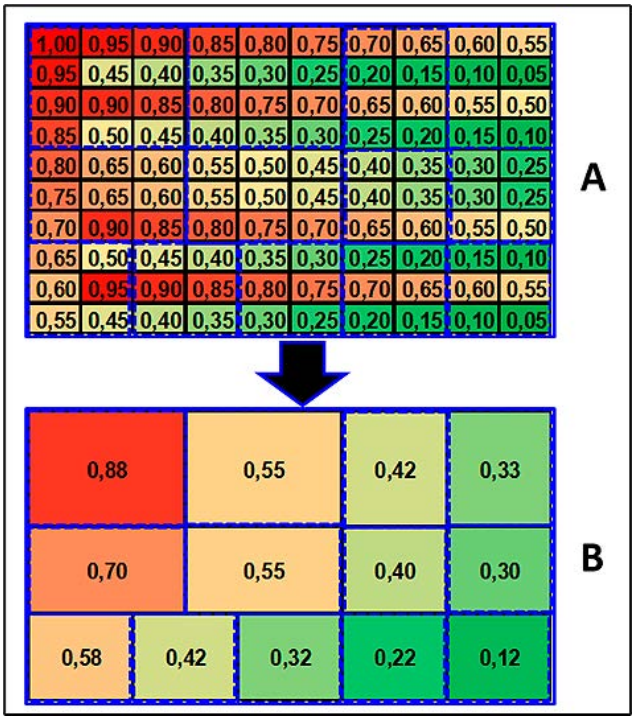
Figura 5. Vulnerabilidade Ambiental a deslizamentos em Manaus - AM



Fonte: Os autores (2026).

Para se analisar as variações dos graus de vulnerabilidade ambiental nas bacias hidrográficas em Manaus, realizou-se a análise conjunta das médias e o desvio padrão dos valores obtidos na análise zonal das bacias, visto que na análise zonal da vulnerabilidade média, quanto o desvio padrão, considera-se os valores a partir de uma média aritmética pela área das bacias em metros quadrados. A título de exemplo na figura 6 “A” equivale à distribuição dos graus de vulnerabilidade por pixels, e “B” corresponde à distribuição zonal das médias de vulnerabilidade por polígonos ou zonas, no presente trabalho correspondem às áreas das bacias. (Figura 6).

Figura 6. Exemplo de análise zonal da média de vulnerabilidade por área

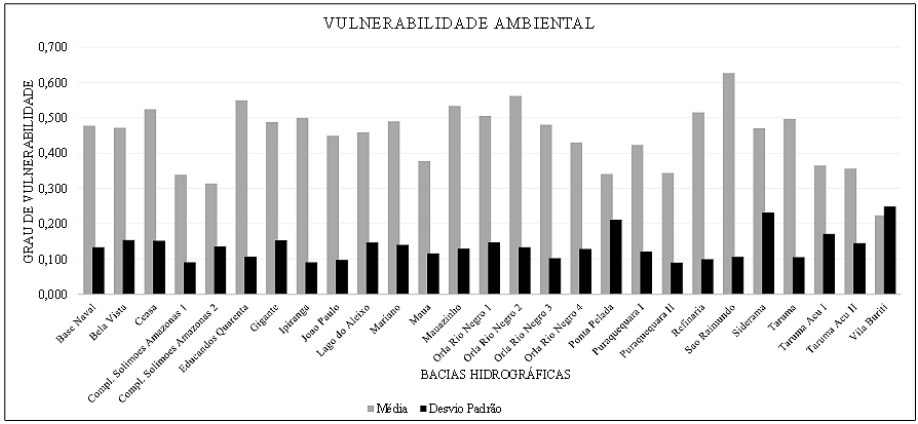


Fonte: Os autores (2026).

A análise zonal indicou a presença de uma distribuição assimétrica em determinadas bacias, com ocorrência simultânea de valores extremamente baixos e elevados, o que influencia diretamente na média aritmética dos índices de vulnerabilidade. Além disso, a proximidade entre os valores menores de média e desvio padrão, apontam para uma distribuição mais homogênea da vulnerabilidade nas bacias hidrográficas e relativa homogeneidade quanto às variáveis que integram a vulnerabilidade.

Observa-se que as bacias com maior média de vulnerabilidade ambiental são: a do São Raimundo, Mauazinho, Educandos Quarenta e Orla Rio Negro, com valores superiores a 0.53, indicando áreas críticas quanto aos graus de vulnerabilidade e possível exposição a riscos ambientais. Em contrapartida, bacias como Vila Buriti, Complexo Solimões Amazonas, Ponta Pelada, Puraquequara II, Tarumã Açu II, Tarumã Açú I apresentaram as menores médias, inferiores a 0.37, o que pode indicar menor pressão ambiental resultado de fatores como baixa densidade populacional, e menor intensificação de ocupação ou presença de áreas naturais preservadas. O uso da média como medida de tendência central permite identificar as bacias que concentram maior grau de vulnerabilidade em termos absolutos. (Figura 7).

Figura 7. Análise zonal da média e desvio padrão da vulnerabilidade ambiental por bacia hidrográfica em Manaus



Fonte: Os autores (2026).

A análise do desvio padrão revela importantes informações sobre a dispersão dos dados em cada bacia. As bacias Ceasa, Gigante, Bela Vista, Tarumã Açú I, Ponta Pelada, Siderama e Vila Buriti, que apresentam os maiores desvios padrão, sugerindo heterogeneidade espacial acentuada da vulnerabilidade dentro dessas bacias, com coexistência de áreas de alta e baixa vulnerabilidade. As bacias como Puraquequara II Ipiranga, Complexo Solimões Amazonas, João Paulo, Refinaria, Orla Rio Negro, Tarumã apresentam baixos índice de desvios padrão, indicando maior homogeneidade no grau de vulnerabilidade. A associação entre médias elevadas e altos desvios padrão, como observado por exemplo a bacia Siderama, reforça a necessidade de políticas públicas mais direcionadas e adaptativas, considerando a complexidade e a desigualdade espacial das condições ambientais nessas bacias urbanas.

4. Considerações Finais

A vulnerabilidade das paisagens, podem contribuir para identificação e prevenção de prováveis áreas de risco associados à ocupação inadequada dessas áreas. A variação no grau de vulnerabilidade entre as diferentes bacias hidrográficas de Manaus, pode ser atribuída a diferenças na topografia, tipo de solo, cobertura vegetal, e nos processos de ocupação de novas área, muitas vezes ocupações irregulares, que se caracterizam pela ausência ou precariedade de infraestrutura e acesso à serviços básicos.

Os resultados enfatizam a necessidade de atenção e possíveis intervenções para mitigar os riscos ambientais associados aos deslizamentos. As áreas de Alta e Muito Alta Vulnerabilidade demandam ações como monitoramento, planeja-

mento urbano adequado, obras de contenção, educação ambiental e remoção de áreas de risco.

Quanto à análise estatística dessas medidas, portanto, é fundamental para identificar áreas prioritárias para intervenções urbanas e políticas públicas, pois revela não apenas o nível médio de vulnerabilidade, mas também a dispersão e a concentração dos dados dentro de cada unidade hidrográfica. Essa abordagem possibilita um planejamento mais eficaz e direcionado à mitigação de riscos urbanos em Manaus.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM). À Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação – PROPESP, da Universidade Federal do Amazonas - UFAM. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Referências

ALBAGLI, S. **Amazônia:** fronteira geopolítica da biodiversidade. In: Parcerias Estratégicas, nº 12, Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia Centro de Estudos Estratégicos, 2001.

BARBOSA, A. J. S.; BLANCO, C. J. C.; MELO, A. M. Q. de. Determinação do fator energético da chuva (R) para Belém-PA. 2015. In: **Congresso internacional de hidrossedimentologia**, 1., 2015, Porto Alegre, RS. Anais... Porto Alegre, RS: IPH, 2015.

CÂMARA, G.; MOREIRA, F. R. S.; BARBOSA, C.; ALMEIDA FILHO, R.; BÖNISCH, S. Técnicas de inferência Geográfica. In: CÂMARA, G. ; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos, 2001.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática.** Rio de Janeiro: CPRM– Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais. 1994.

CEMADEN, **Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. Movimento de Massa.** 2022. Disponível em: https://www.gov.br/cemaden/pt-br/paginas/ameacas-naturais/movimento-de-massa Acesso em 29/12/2024

CHIRPS: **Rainfall Estimates from Rain Gauge and Satellite Observations**. 2024. Disponível em https://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRPS-2.0/ Acesso em: 11 de dezembro de 2024.

CREPANI, E; et al. **Zoneamento Ecológico-econômico.** In: FLORENZANO,

Teresa G. (Org.) Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais. São Paulo, Oficina de Textos, 2008.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação dos solos.** 2ª Ed. Rio e Janeiro: EMBRAPA, 2006.

FEARNSIDE, P. M. **Desmatamento na Amazônia brasileira:** história, índices e consequências. Megadiversidade. 3, 2005.

FEARNSIDE P. M. **Desmatamento na Amazônia**: dinâmica, impactos e controle. Acta Amazônica; 36(3):395–400. 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **População em áreas de risco no Brasil.** Rio de Janeiro, Diretoria de Geociências - Coordenação de Geografia. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. IBGE BDiA - **Banco de Informações Ambientais.** 2024. Disponível em: https://bdiaweb.ibge.gov.br/ acesso em 30 de outubro de 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Malhas de setores censitários - divisões intramunicipais**. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/26565-malhas-de-setores-censitarios-divisoes-intramunicipais.html. Acesso em: 25 jun. 2025.

LIMA, E. P.; et al. **Erosividade da chuva do Brasil.** Boletim de pesquisa e desenvolvimento 286. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2023.

MATOS, T. Mais de 20 famílias sofreram soterramento em Manaus; sete crianças morreram. **Revista cenário**, 2025. Disponível em: https://revistacenarium.com.br/mais-de-20-familias-sofreram-soterramento-em-manaus-sete-criancas-morreram/ acesso em: 21/01/2025.

OLIVEIRA, J. A. **Manaus de 1920–1967**: a cidade doce e dura em excesso. Valer Editora, 2003.

SILVA NETO, J. C. A. Avaliação da vulnerabilidade à perda de solos na bacia do Rio Salobra, MS, com base nas formas do terreno. **Geografia** (Londrina), 22(1), 2013.

SILVA NETO, J. C. A. Zoneamento ambiental como subsídio para o ordenamento do território da bacia hidrográfica do rio Salobra, Serra da Bodoquena – MS. **R. Ra'e Ga** - Curitiba, v.31, p.119-142, 2014.

SILVA NETO, J. C. A; ALEIXO, N. C. R. Análise Temporal da vulnerabilidade da paisagem à perda dos solos na bacia hidrográfica do Rio Salobra- Serra da Bodoquena, Mato Grosso Do Sul. **Formação (Online)**, *[S. l.]*, v. 2, n. 23, 2016.

SILVA NETO, J. C. A; ALEIXO, N. C. R. Erosividade da chuva na região do médio Solimões, Amazonas, Brasil. **Caminhos de Geografia.** Uberlândia-MG v. 21, n. 77, 2020.

SOUZA, L. B. Cidade flutuante: uma Manaus sobre as águas. **URBANA:** Revista eletrônica do Centro Interdisciplinar de Estudos sobre a Cidade, 8(2), 115–146. 2016.

Mapeamento do grau de risco de seca em comunidades ribeirinhas de Manaus, Amazonas[1]

Rogério Ribeiro Marinho
Universidade Federal do Amazonas
rogeo@ufam.edu.br

Diogo Ferreira Ribeiro
Universidade Federal de Goiás
ribeirodiogogeo@gmail.com

Naziano Pantoja Filizola Júnior
Universidade Federal do Amazonas
naziano.filizola@gmail.com

1. Introdução

A região amazônica tem experimentado intensificação de eventos climáticos extremos nas últimas décadas, com alternância entre cheias e estiagens severas transformando drasticamente o modo de vida das populações tradicionais (GLOOR et al., 2013). A bacia do Rio Negro, caracterizada por baixa densidade habitacional e baixa fertilidade de sua planície de inundação (JUNK et al., 2015), abriga diversas comunidades ribeirinhas que dependem diretamente da dinâmica fluvial para suas atividades cotidianas.

Os rios desempenham funções essenciais que transcendem o transporte, sendo fundamentais para produção de alimentos, caça e sustento das populações ribeirinhas (PEREIRA, 2007). Mesmo próximas a grandes centros urbanos como Manaus, essas populações utilizam as águas para transporte, pesca, abastecimento, lazer e atividades econômicas essenciais.

Os registros históricos da régua do Porto de Manaus evidenciam a intensificação sem precedentes dos eventos extremos: em 2021, o Rio Negro atingiu 30,02 metros, a maior cheia registrada em 120 anos de medições, enquanto em 2024, o mesmo rio chegou a 12,11 metros durante a estiagem, o menor nível documentado em mais de 120 anos. Esta amplitude de variação de quase 18 metros entre os extremos impõe desafios extraordinários à resiliência comunitária.

Durante secas severas, as comunidades ribeirinhas enfrentam comprometimento dos principais meios de transporte devido ao surgimento de bancos de areia e redução drástica da massa d'água para a navegabilidade. O isolamento resultante afeta o acesso a alimentos, medicamentos e serviços essenciais, além

1 Resultados deste capítulo foram apresentados no XXVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (Vitória, 2025)

de dificultar o escoamento da produção local (SANTOS DE LIMA et al., 2024). A escassez de água potável se intensifica, com fontes tradicionais tornando-se inacessíveis ou impróprias para consumo.

A área ribeirinha de Manaus abrange aproximadamente 230 km ao longo dos rios Negro, Amazonas e pequenos tributários, onde residem mais de 3500 famílias distribuídas em mais de 62 comunidades. A vulnerabilidade dessas populações é agravada pela precariedade ou inexistência de ramais terrestres que possam servir como rotas alternativas durante períodos críticos. Neste contexto, este trabalho objetiva identificar e mapear o grau de risco das comunidades ribeirinhas de Manaus a eventos de seca extrema, fornecendo subsídios técnicos para o planejamento de políticas públicas de prevenção e mitigação de desastres hidrológicos.

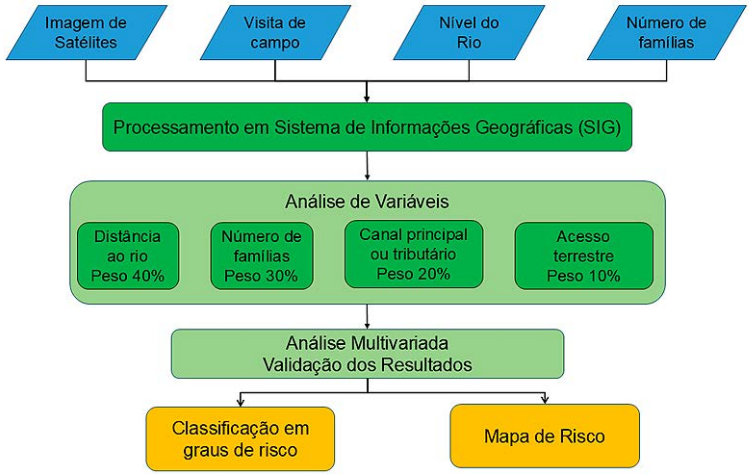
2. Metodologia

O município de Manaus possui população rural representando aproximadamente 0,5% do total habitantes (IBGE, 2024), distribuída pelos 96% do território municipal (11.401 km²), resultando em densidade demográfica muito baixa comparada à área urbana. O estudo abrange comunidades situadas nos rios Apuauí, Negro, Amazonas, Cuieiras e outros tributários, selecionadas com base nos relatórios da Operação Estiagem da Secretaria Municipal de Proteção e Defesa Civil de 2024. O risco mapeado corresponde à seca decorrente da redução dos níveis fluviométricos, que conforme o Plano de Contingência da Defesa Civil de Manaus (2024), caracteriza-se pela descida das águas dos rios Negro e Amazonas a níveis abaixo de 16 metros com referência a estação fluviométrica do Porto de Manaus, resultando principalmente no isolamento das comunidades rurais ribeirinhas.

A metodologia fundamentou-se na abordagem multifatorial de análise de riscos, combinando dados de sensoriamento remoto, geoprocessamento e pesquisa de campo. Utilizaram-se imagens de satélite da constelação PlanetScope com resolução espacial de 3 metros, referentes ao período de estiagem de novembro de 2024, quando a cota do Rio Negro atingiu 12,11 metros, o ponto mais baixo desde 1903. O processamento dos dados foi realizado no software QGIS, permitindo a integração de múltiplas fontes de informação georreferenciadas, enquanto visitas de campo entre agosto e novembro de 2024 apoiaram as análises, fornecendo dados socioeconômicos para compreensão dos impactos dos eventos extremos.

A análise considerou quatro variáveis principais: distância da comunidade ao rio principal, número de famílias na comunidade, localização da comunidade no canal principal ou tributário, e existência de acesso terrestre para a comunidade ribeirinha (Figura 1). Desenvolveu-se sistema de classificação de riscos em quatro níveis (Baixo, Médio, Alto e Muito Alto), com ponderação diferenciada para cada fator (Quadro 1).

Figura 1. Fluxograma metodológico para definir grau de risco de seca



Fonte: Os autores (2026).

Quadro 1. Classificação dos graus de risco a seca

Grau de risco	Descrição
R1 Baixo	Comunidades geralmente localizadas próximas ao canal principal dos rios Negro e Amazonas e com distâncias curtas para acessar o rio. Valores do grau de risco de 1,0 a 1,75
R2 Médio	Comunidades com fatores de risco intermediários. Valores do grau de risco de 1,76 a 2,5
R3 Alto	Comunidades que combinam diversos fatores de vulnerabilidade. Valores do grau de risco de 2,51 a 3,25.
R4 Muito Alto	Comunidades com alta vulnerabilidade devido à grande distância, alto número de famílias e/ou falta de acesso alternativo. Valores do grau de risco de 3,26 a 4,0.

Fonte: Os autores (2026).

A metodologia permitiu avaliação estatística multivariada, atribuindo pesos específicos conforme a Equação 1:

$$\text{Grau de risco} = (Dis \times 0{,}4)+(Fam \times 0{,}3)+(CP \times 0{,}2)+(Ram \times 0{,}1) \qquad (1)$$

Em que *Dis* representa a distância da comunidade à massa d'água identificada nas imagens de satélite, *Fam* o número de famílias da comunidade, *CP* a localização da comunidade na margem do canal principal dos rios Negro ou Amazonas ou em tributários, e *Ram* a existência de acesso por via terrestre. As constantes correspondem aos pesos atribuídos de 40% para distância, 30% para número de famílias, 20% para localização do canal e 10% para acesso terrestre.

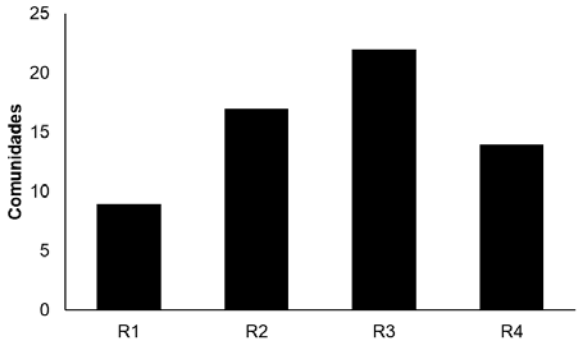
A validação metodológica foi realizada em conjunto com especialistas em hidrologia e gestão de desastres de Manaus, garantindo a consistência técnica dos resultados.

3. Resultados e Discussão

O mapeamento realizado neste estudo cobriu 230 km de área ribeirinha do município de Manaus, identificando mais de 3500 famílias sob risco de seca severa pela redução dos níveis dos rios durante o ano de 2024.

Das 62 comunidades avaliadas, 9 comunidades com 221 famílias foram classificadas como Risco Baixo (14,5%), 17 comunidades com 978 famílias como Risco Médio (27,4%), 22 comunidades com 1146 famílias como Risco Alto (35,5%) e 14 comunidades com 1133 famílias como Risco Muito Alto (22,6%). O cenário revelou-se crítico, com 58% das comunidades (36 localidades) classificadas com graus de risco 3 e 4 (alto e muito alto), abrangendo 2379 famílias, correspondente a 66% do total de famílias analisadas (Figura 2).

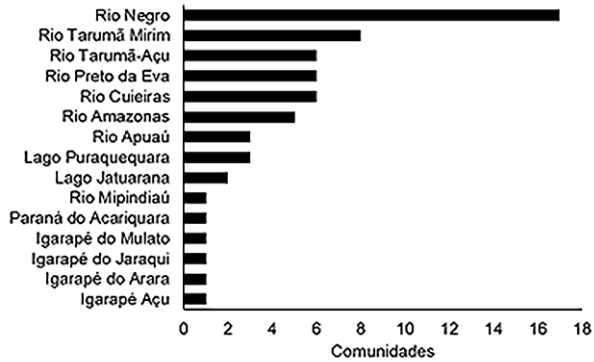
Figura 2. Número de comunidades ribeirinhas em função do grau de risco



Fonte: Os autores (2026).

A distribuição dos riscos por calha de rio demonstrou variações significativas, sendo que o Rio Negro apresentou 17 comunidades mapeadas com predominância de riscos moderados, o Rio Amazonas contou com 7 comunidades com menor grau de risco, o Rio Tarumã-Mirim concentrou 8 comunidades das quais 4 em grau de muito alto risco, e o Rio Cuieiras apresentou 6 comunidades com 3 em graus de risco muito alto (Figura 3). Entre as comunidades com maior grau de risco, destacaram-se Abelha (Grau 4, 120 famílias), Nossa Senhora de Fátima (Grau 4, 393 famílias), Monte Sinai (Grau 4, 130 famílias) e Jeferson Peres (Grau 4, 100 famílias), caracterizadas pela combinação crítica de fatores como grande número de famílias, distância significativa dos rios, ausência de canais principais e limitação de acesso por via terrestre.

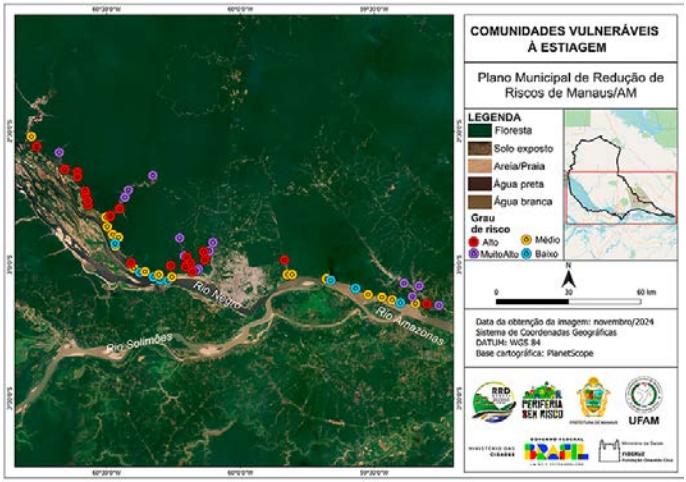
Figura 3. Quantidade de comunidades ribeirinhas analisadas por rio



Fonte: Os autores (2026).

Os principais riscos identificados incluíram isolamento geográfico, comprometimento da segurança alimentar, limitação no acesso a serviços essenciais de saúde e educação, e interrupção das atividades econômicas como turismo, pesca e agricultura de subsistência que são fortemente dependentes do transporte fluvial. Destaca-se que oito comunidades se autodeclararam indígenas, apresentando perfis de risco diversificados, com algumas em situação crítica e outras com menor exposição, principalmente aquelas localizadas próximas aos canais principais. As comunidades com distância superior a 1 km dos corpos hídricos durante a seca de 2024 representaram 74% do total, evidenciando desafios críticos de acessibilidade neste cenário de seca extrema. A distribuição espacial das 62 comunidades analisadas e seus respectivos graus de risco podem ser visualizados na Figura 4.

Figura 4. Distribuição espacial das comunidades ribeirinhas sob risco de seca e graus de risco.



Fonte: Os autores (2026).

Os resultados apresentados, que identificaram 58% das comunidades ribeirinhas de Manaus em situação de risco alto ou muito alto, corroboram resultados recentes de Santos de Lima et al. (2024), que demonstraram que durante secas severas, 50% das comunidades não-indígenas e 54% indígenas na Amazônia brasileira ficam propensas ao isolamento.

A metodologia multifatorial empregada, atribuindo 40% do peso à distância dos corpos hídricos, encontra respaldo na literatura especializada, onde estudos de vulnerabilidade hidrológica consistentemente atribuem 35-45% do peso total a fatores relacionados à água (DARABI et al., 2019; EINI et al., 2020).

A concentração comunidades ribeirinhas com alto grau de risco nos rios Tarumã-Mirim e Cuieiras versus aquelas situadas nas margens do Rio Negro e Amazonas reflete padrões documentados de vulnerabilidade diferencial, onde tributários menores experienciam períodos de isolamento 2-3 vezes mais longos que os rios principais, com custos de transporte aumentando até 300% durante eventos extremos (SANTOS DE LIMA et al., 2024).

A proporção de 74% das comunidades localizadas a mais de 1 km dos corpos hídricos durante secas extremas representa vulnerabilidade crítica documentada (ACAPS, 2025). Durante a seca de 2023, mais de 745.000 pessoas nos estados do Amazonas e Acre foram afetadas, com comunidades distantes enfrentando caminhadas de 20-30 minutos através de leitos expostos para acesso a transporte e serviços essenciais (Espinoza et al., 2024). Os impactos socioeconômicos incluem redução no transporte de bens essenciais e queda na produção industrial do Amazonas.

As 2379 famílias classificadas em alto risco enfrentam vulnerabilidades amplificadas durante eventos como as secas de 2023 e 2024, consideradas 30 vezes mais prováveis devido às mudanças climáticas segundo análises de atribuição climática (WORLD WEATHER ATTRIBUTION, 2024).

A validação da metodologia proposta é reforçada por estudos que demonstram que distância à água, densidade populacional e acessibilidade constituem fatores dominantes em índices de vulnerabilidade hidrológica, com os pesos atribuídos alinhando-se às distribuições identificadas na literatura internacional (CRUZ et al., 2021; ENGSTRÖM et al., 2020; RAHMAN et al., 2025).

4. Conclusão

O mapeamento do grau de risco de seca em comunidades ribeirinhas de Manaus revelou um cenário de alta vulnerabilidade socioambiental, com 58% das comunidades analisadas classificadas em situação de risco alto ou muito alto. Este resultado evidencia a necessidade urgente de implementação de políticas públicas específicas para prevenção e mitigação de desastres hidrológicos na região.

A metodologia multifatorial desenvolvida, baseada em variáveis como distância aos rios, número de famílias, localização dos canais e acesso terrestre, mostrou-se eficaz para identificação e hierarquização dos riscos, fornecendo base técnica consistente para tomada de decisões.

Os resultados indicam que o fator distância aos corpos hídricos durante extremos de seca constitui o principal determinante de vulnerabilidade, seguido pelo tamanho populacional das comunidades. A concentração de comunidades de alto risco nos rios Tarumã-Mirim e Cuieiras sugere necessidade de atenção prioritária nessas sub-bacias. Com base nos resultados, recomenda-se a implementação de intervenções estruturais como sistemas de captação e armazenamento de água, e melhoramento de portos comunitários. Paralelamente, medidas não-estruturais devem incluir desenvolvimento de sistemas de alerta precoce, capacitação comunitária para gestão de riscos, e estabelecimento de protocolos de emergência. As políticas públicas devem integrar o mapeamento de riscos ao planejamento municipal, criar fundos específicos para ações preventivas, e fortalecer a Defesa Civil municipal.

O presente estudo limitou-se ao período de seca extrema de 2024, sendo recomendável a realização de monitoramento contínuo para validação da metodologia em diferentes cenários hidrológicos. Estudos futuros devem incorporar análises de tendências climáticas de longo prazo e avaliação da eficácia das medidas de mitigação implementadas. A incorporação de variáveis socioeconômicas adicionais, como renda familiar e nível educacional, pode aprimorar a precisão do mapeamento de vulnerabilidades. Recomenda-se também a extensão da metodologia para outras regiões amazônicas com características similares. Este estudo oferece informações qualificadas e contextualizadas para o planejamento de políticas públicas de prevenção e resposta a desastres, orientando intervenções estruturais e não-estruturais para mitigação dos impactos de secas extremas nas populações ribeirinhas, especialmente vulneráveis às mudanças climáticas na região amazônica.

Agradecimentos

Agradecemos a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pelo apoio financeiro no projeto “Subsídios para o Plano Municipal de Redução de Riscos de Manaus” EDITAL 004/2024 - PEX-CT&I/FAPEAM. Agradecemos a Secretaria Executiva de Defesa Civil de Manaus pelo apoio logístico de campo e dados socioeconômicos. Agradecemos à Secretaria Nacional de Periferias do Ministério das Cidades pelo apoio ao Projeto Multicêntrico de Pesquisa-ação e Inovação de elaboração de Plano Municipal de Redução de Riscos de Desastres.

Referências

ACAPS. **Thematic report - Brazil:** Impact of drought in the Brazilian Amazon and 2025 outlook. ReliefWeb, 28 jan. 2025. 2025 Disponível em: https://reliefweb.int/report/brazil/acaps-thematic-report-brazil-impact-drought-brazilian-amazon-and-2025-outlook-28-january-2025. Acesso em: 07 jun. 2025.

CRUZ, M.G.; HERNANDEZ, E.A.; UDDAMERI, V. Vulnerability assessment of agricultural production systems to drought stresses using robustness measures. **Scientific Reports,** v. 11, n. 21648, 2021. https://doi.org/10.1038/s41598-021-98829-5.

DARABI, H.; ISLAMI FARSANI, S.; IRANI BEHBAHANI, H. Evaluation of Ecological Vulnerability in Chelgard Mountainous Landscape. **Pollution**, v. 5, n. 3, 2019.

DEFESA CIVIL. **Plano de Contingência.** Prefeitura Municipal de Manaus. 2024 Disponível em: https://radioriomarfm.com.br/wp-content/uploads/2024/05/PLANO-DE-CONTINGENCIA-OFICIAL-2024-UNIFICADO.pdf. Acesso em: 30 out. 2024.

EINI, M.; KABOLI, H. S.; RASHIDIAN, M.; HEDAYAT, H. Hazard and vulnerability in urban flood risk mapping: Machine learning techniques and considering the role of urban districts. **International Journal of Disaster Risk Reduction,** v. 50, p. 101687, 2020.

ENGSTRÖM, J.; JAFARZADEGAN, K.; MORADKHANI, H. Drought Vulnerability in the United States: An Integrated Assessment. **Water**, v. 12, n. 7, p. 2033, 2020. https://doi.org/10.3390/w12072033.

ESPINOZA, J.C.; JIMENEZ, J.C.; MARENGO, J.A. et al. The new record of drought and warmth in the Amazon in 2023 related to regional and global climatic features. **Scientific Reports**, v. 14, n. 8107, 2024. https://doi.org/10.1038/s41598-024-58782-5.

GLOOR, M. et al. Intensification of the Amazon hydrological cycle over the last two decades. **Geophysical Research Letters**, v. 40, n. 9, pp. 1729-1733, 2013.

IBGE. **Cidades@**. 2024. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/. Acesso em: 13 maio 2024.

JUNK, W. J.; WITTMANN, F.; SCHÖNGART, J.; PIEDADE, M. T. F. A classification of the major habitats of Amazonian black-water river floodplains and a comparison with their white-water counterparts. **Wetlands Ecology and Management**, v. 23, n. 4, pp. 677-693, 2015.

PEREIRA, H. dos S. **A dinâmica da paisagem socioambiental das várzeas do rio Solimões-Amazonas**. In Comunidades Ribeirinhas amazônicas: modos de

vida e uso dos recursos naturais. Manaus: EDUA, 2007.

RAHMAN, G. et al. Drought impact, vulnerability, risk assessment, management and mitigation under climate change: A comprehensive review. **KSCE Journal of Civil Engineering**, 29(1), 100120, 2025.

SANTOS DE LIMA, L. et al. Severe droughts reduce river navigability and isolate communities in the Brazilian Amazon. **Communications Earth & Environment**, v. 5, n. 1, p. 370, 2024.

WORLD WEATHER ATTRIBUTION. **Climate change, not El Niño, main driver of exceptional drought in highly vulnerable Amazon River Basin.** 2024. Disponível em: https://www.worldweatherattribution.org/climate-change--not-el-nino-main-driver-of-exceptional-drought-in-highly-vulnerable-amazon--river-basin/. Acesso em: 07 jun. 2025

Marco legal e institucional da redução de riscos de desastres em Manaus

Deivison Carvalho Molinari
Departamento de Geografia
Universidade Federal do Amazonas (UFAM)
molinari_geo@yahoo.com.br

1. Introdução

A redução de riscos de desastres (RRD) em áreas urbanas depende, de forma decisiva, da articulação entre bases legais consistentes e arranjos institucionais capazes de transformar normas em políticas públicas efetivas. No contexto amazônico, marcado por elevada vulnerabilidade socioambiental, crescimento urbano acelerado e forte incidência de eventos hidrológicos e geomorfológicos extremos, essa articulação torna-se ainda mais estratégica.

Manaus enfrenta riscos recorrentes associados a deslizamentos, inundações, processos erosivos, secas e eventos climáticos extremos, que afetam tanto áreas urbanas densamente ocupadas quanto comunidades ribeirinhas. O Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR, 2025) identificou 5.380 edificações e 18.447 habitantes distribuídos em 86 setores de risco, classificados como Médio (R2), Alto (R3) e Muito Alto (R4). Este cenário demonstra a complexidade inerente à gestão de riscos urbanos na maior metrópole da Amazônia Ocidental.

Nesse contexto, o PMRR emerge como instrumento central para a integração entre conhecimento técnico-científico, planejamento urbano e ação governamental. A elaboração do PMRR em Manaus está ancorada em um amplo conjunto de dispositivos constitucionais, legais e infralegais, bem como em uma estrutura institucional multifacetada, que envolve diferentes níveis federativos e múltiplas secretarias municipais.

Este capítulo tem como objetivo apresentar uma visão geral do marco legal e institucional da redução de riscos de desastres em Manaus, analisando seus fundamentos normativos, a organização administrativa municipal e os principais desafios para a efetivação de políticas públicas preventivas e integradas, no âmbito do PMRR.

2. Bases legais da redução de riscos de desastres

2.1 Fundamentos constitucionais e normativos federais

A Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 estabelece os pilares jurídicos que sustentam a atuação municipal na redução de riscos de desastres. Os artigos 23 e 30 atribuem aos municípios competências administrativas e normativas relacionadas à proteção do meio ambiente, ao ordenamento territorial, à política urbana, à habitação, ao saneamento básico e à defesa civil. Esses dispositivos são reforçados pelos princípios da administração pública (art. 37), pelas diretrizes da política urbana (art. 182) e pela tutela do meio ambiente ecologicamente equilibrado (art. 225).

No plano infraconstitucional, a Lei Federal nº 12.608/2012, que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), constitui o principal marco legal da RRD no Brasil. Essa norma atribui aos municípios responsabilidades diretas, como a identificação e o mapeamento de áreas de risco, a fiscalização para evitar novas ocupações, a adoção de medidas preventivas e a promoção de soluções habitacionais temporárias ou definitivas para populações afetadas.

Outras normas federais complementam esse arcabouço, ainda que de forma indireta, como o Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001), a Política Nacional de Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981), o Código Florestal (Lei nº 12.651/2012), a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997) e a Política Nacional de Saneamento Básico (Lei nº 11.445/2007, atualizada pela Lei nº 14.026/2020). Em conjunto, essas normas oferecem instrumentos para o planejamento urbano, a gestão ambiental e a mitigação de riscos socioambientais.

2.2 Marco legal estadual e municipal

No âmbito estadual, o Amazonas dispõe de legislações específicas que fortalecem a gestão de riscos, como a criação do Fundo Estadual de Proteção e Defesa Civil (FEPDEC), do Fundo Estadual de Recursos Hídricos e do Fundo Estadual de Mudanças Climáticas, os quais podem financiar ações preventivas e corretivas em áreas de risco.

Em nível municipal, Manaus conta com um conjunto robusto de normas urbanísticas e ambientais. Destacam-se a Lei Orgânica do Município de Manaus, o Plano Diretor Urbano e Ambiental (Lei Complementar nº 02/2014), o Código de Obras e Edificações (Lei Complementar nº 03/2014), a legislação de parcelamento do solo (Lei Complementar nº 04/2014) e as normas relativas às Áreas de Especial Interesse Social (AEIS) (Lei Municipal nº 1837/2014). Essas leis são fundamentais para disciplinar a expansão urbana e reduzir a exposição da população a áreas suscetíveis a desastres.

Além disso, políticas setoriais como o Plano Municipal de Saneamento Básico, os programas de regularização fundiária e os instrumentos orçamentários (PPA, LDO e LOA) desempenham papel central na materialização das ações previstas no PMRR.

3. Estrutura institucional da gestão de riscos em Manaus

A gestão municipal dos riscos de desastres em Manaus é caracterizada por uma estrutura institucional descentralizada e intersetorial, envolvendo diferentes secretarias e órgãos da administração direta e indireta.

A Secretaria Municipal de Segurança Pública e Defesa Social (SEMSEG), criada nos termos da Lei Municipal nº 2817/2021, abriga a Defesa Civil Municipal, responsável pelas ações de prevenção, monitoramento, resposta e recuperação de desastres. Embora estratégica, a Defesa Civil encontra-se institucionalmente vinculada à função de segurança pública, o que impõe desafios à integração plena com o planejamento urbano e ambiental.

O Instituto Municipal de Planejamento Urbano (IMPLURB) desempenha papel fundamental na formulação e execução das políticas urbanísticas e habitacionais, especialmente no que se refere à desapropriação, regularização fundiária e reassentamento de populações residentes em áreas de risco, conforme determina o art.1 da Lei Municipal nº. 687/2002. A Secretaria Municipal de Habitação e Assuntos Fundiários (SEMHAF) desenvolve essas ações por meio de programas de habitação de interesse social e regularização fundiária urbana (REURB-S) consoante determina o art. 1, incisos IX e X, da Lei Municipal nº 3550/2025.

Outras secretarias exercem funções estratégicas na gestão de riscos, como a Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Mudança do Clima (SEMMASCLIMA), conforme Leis Municipais nº 2625/2020 e nº 3224/2023, responsável pela gestão ambiental e pela proteção de áreas sensíveis; a Secretaria Municipal de Infraestrutura (SEMINF), responsável por obras de drenagem e contenção de acordo com o art. 1, inciso I, da Lei Municipal nº 2340/2018; e a Secretaria Municipal da Mulher, Assistência Social e Cidadania (SEMASC) nos termos da Lei Municipal nº 3547/2025 atua na proteção social das famílias afetadas, por meio de benefícios como o auxílio-aluguel e serviços socioassistenciais.

A criação do Comitê Gestor de Redução de Riscos (Decreto Municipal nº 5915/2024) no contexto da elaboração do PMRR, representa um avanço institucional relevante, ao promover a articulação entre diferentes órgãos municipais e instituições acadêmicas, buscando superar a fragmentação das políticas públicas.

4. Desafios e fragilidades do marco legal e institucional

Apesar da existência de um arcabouço normativo amplo, persistem fragilidades institucionais que limitam a efetividade da RRD em Manaus. Entre os principais desafios destacam-se:

• a fragmentação administrativa e a sobreposição de competências entre órgãos;

• a predominância de ações reativas, em detrimento de políticas preventivas permanentes;

• limitações técnicas e operacionais (reserva do possível) na identificação e diferenciação de processos geomorfológicos, como deslizamentos e voçorocamentos;

• necessidade de fortalecimento das articulações entre Prefeitura Municipal de Manaus (SEMSEG, IMPLURB, SEMMASCLIMA, SEMSA, SEMHAF e SEMASC) e instituições públicas (UFAM e UEA), em especial, via estágios profissionais obrigatórios, de cursos da área ambiental (a exemplo da Geografia) diretamente envolvidos na temática das áreas de risco visando contribuir nas gerencias/setores (geoprocessamento, licenciamento, regularização fundiária, moradias populares, saúde ambiental, entre outros);

• dependência recorrente da decretação de situação de emergência para acesso a recursos financeiros;

• necessidade de alocação de recursos financeiros compatíveis a realização de atividades preventivas e corretivas nas Leis Orçamentárias Anuais (LOA) e no Planejamento Plurianual (PPA) do município de Manaus;

• realização de concurso público visando criar corpo técnico permanente (SEMSEG, IMPLURB, SEMHAF e SEMASC) composto por profissionais habilitados nas áreas ambientais (Geografia, Geologia, Engenharia Florestal, etc.), possibilitando a continuidade e implementação de políticas públicas nas áreas de risco conforme determina o art. 8 da Lei Federal nº12.608/2012 (Política Nacional de Defesa Civil);

• necessidade de alinhamento conceitual e procedimental (fichas de campo, banco de dados) entre os técnicos dos órgãos e entidades do Comitê Gestor de Redução de Risco de Desastres – CGRRD (art. 2, do Decreto Municipal nº 5915/2024) acerca dos processos e mecanismos responsáveis pela criação de áreas de risco: feições erosivas (voçorocas, ravinas) e movimentos de massa (rastejamento, escorregamento, desmoronamento, corridas de lama, fluxo de detrito, etc.);

• implementação de banco de dados, em nível de bairro/setores censitários, acerca das características geoambientais e socioeconômicas dos moradores das áreas de risco mapeadas no PMRR (2025) e disponível aos servidores municipais, em especial, das secretarias e órgãos do Comitê Gestor de Redução de Risco de Desastres – CGRRD;

• a institucionalização do Comitê Gestor de Redução de Risco de Desastres – CGRRD, de forma permanente, permitindo a continuidade de diálogo e das ações preventivas/corretivas, por parte do ente Municipal;

• a conversão de programas/ações da defesa civil municipal, por meio de lei municipal, tornando-os programas de Estado (e não Governo) visando a continuidade dessas ações preventivas/corretivas;

• insuficiente integração entre políticas habitacionais, ambientais e de defesa civil em nível municipal.

Essas fragilidades evidenciam a necessidade de fortalecer capacidades institucionais, investir na formação técnica dos quadros municipais e aprimorar os instrumentos de planejamento e gestão territorial.

5. Considerações finais

O marco legal e institucional da redução de riscos de desastres em Manaus é amplo e, em grande medida, compatível com as diretrizes nacionais e internacionais de gestão de riscos. A Constituição Federal, a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, o Estatuto da Cidade e o Plano Diretor Urbano e Ambiental fornecem bases sólidas para a atuação municipal.

Entretanto, a efetividade dessas normas depende da capacidade institucional de integrá-las em políticas públicas coerentes, contínuas e preventivas. O Plano Municipal de Redução de Riscos representa uma oportunidade estratégica para consolidar essa integração, ao articular conhecimento técnico, planejamento urbano e ação governamental.

Para que o PMRR cumpra seu papel estruturante, recomenda-se: (i) o fortalecimento da governança intersetorial; (ii) a institucionalização de ações preventivas permanentes; (iii) o aprimoramento técnico dos mapeamentos e diagnósticos de risco; e (iv) a articulação com universidades e instituições de pesquisa locais. Dessa forma, Manaus poderá avançar na construção de uma política de redução de riscos de desastres alinhada às especificidades amazônicas e às demandas socioambientais de sua população.

Referências

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988.

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001.** Estatuto da Cidade. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 jul. 2001.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 jan. 2007.

BRASIL. **Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012**. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 abr. 2012.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 maio 2012.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 jul. 2020.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2 set. 1981.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 jan. 1997.

MANAUS. **Decreto Municipal nº 5915/2024**. Institui o Comitê Gestor de Redução de Riscos (CGRR) Diário Oficial do Município, 2024.

MANAUS. **Lei Complementar nº 02/2014**. Institui o Plano Diretor Urbano e Ambiental do Município de Manaus. Manaus: Diário Oficial do Município, 2014.

MANAUS. **Lei Complementar nº 03/ 2014**. Institui o Código de Obras e Edificações do Município de Manaus. Manaus: Diário Oficial do Município, 2014.

MANAUS. **Lei Complementar nº 04/2014**. Institui o parcelamento do solo do Município de Manaus. Manaus: Diário Oficial do Município, 2014.

MANAUS. **Lei Municipal nº 1837/2014.** Áreas de Especial Interesse Social (AEIS) do Município de Manaus. Diário Oficial do Município, 2014.

MANAUS. **Lei Municipal nº 2625/2020**. Cria a Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Sustentabilidade (SEMMAS). Diário Oficial do Município, 2020.

MANAUS. **Lei Municipal nº 3224/2023**. Cria a Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Mudança do Clima (SEMMASCLIMA). Diário Oficial do Município, 2023.

MANAUS. **Lei Municipal nº 3550/2025**. Cria Secretaria Municipal de Habitação e Assuntos Fundiários (SEMHAF). Diário Oficial do Município, 2025.

MANAUS. **Lei Municipal nº. 687/2002**. Cria Instituto Municipal de Planejamento Urbano (IMPLURB). Diário Oficial do Município, 2002.

MANAUS. **Lei Municipal nº2340/2018**. Cria a Secretaria Municipal de Infraestrutura (SEMINF) Diário Oficial do Município, 2018.

MANAUS. **Lei Municipal nº2817/2021**. Cria a Secretaria Municipal de Segurança Pública e Defesa Social (SEMSEG). Diário Oficial do Município, 2021.

MANAUS. **Lei Orgânica do Município de Manaus**. Manaus: Câmara Municipal de Manaus, 1990.

PARTE II
INTERVENÇÕES, PROPOSTAS E ESTRATÉGIAS PARA A REDUÇÃO DE RISCOS EM MANAUS

Dinâmica do risco geomorfológico e possibilidades de intervenção na comunidade Pingo D'Água, Manaus (AM)[1]

Antonio Fábio Sabbá Guimarães Vieira
Universidade Federal do Amazonas
fabiovieira@ufam.edu.br

Deivison Carvalho Molinari
Universidade Federal do Amazonas
molinari_geo@yahoo.com.br

Rogério Ribeiro Marinho
Universidade Federal do Amazonas
rogeo@ufam.edu.br

1. Introdução

A ocorrência de voçorocamentos na área urbana da cidade de Manaus é algo observado desde a década de 90 (século XX). Assim, no primeiro mapeamento de voçorocas realizados nos anos de 1994 e 1995, foram cadastradas 40 incisões (VIEIRA e LIMA, 1996). Nos anos seguintes, conforme observado em outros trabalhos (VIEIRA, 1998; 2008; VIEIRA e ABREU, 2012; MOLINARI, 2023) esse número oscilou entre 30, 91, 46 e 77, respectivamente. Essa oscilação está relacionada a processos de contenção realizada pelo poder público de forma direta ou indireta. No caso das contenções indiretas, a obra não estava direcionada à contenção de uma voçoroca, como no caso em que o poder público asfaltou uma rua e como a incisão estava no caminho, esta foi contida. E isso se repetiu várias vezes em diversos pontos da cidade de Manaus.

Porém, verificou-se também, medidas de contenção que foram direcionadas especificamente para as voçorocas, com obras que envolviam desde a remoção de moradores do entorno da incisão, até processos de terraplanagem com construção de patamares gramados e redirecionamento da drenagem. Em alguns desses casos os efeitos foram positivos e as voçorocas foram contidas, no entanto, em outros casos a contenção mostrou problemas estruturais logo após a sua conclusão e o resultado foi a reativação da incisão e a inclusão de novos gastos com contenção.

Portanto, discutir sobre obras de contenção e lançar sugestões de intervenções baseadas em exemplos positivos obtidos em outras obras ou simplesmente

1 Resultados deste capítulo foram apresentados no XV Simpósio Nacional de Geomorfologia (Natal, 2025).

indicar ações ainda não testadas, mas que apresentam fundamentação técnica para darem certo, pode ser o caminho para futuras contenções.

Assim sendo, o presente trabalho busca apresentar ações relacionadas à contenção e recuperação de áreas afetadas por voçorocamento em Manaus, que nesse caso, refere-se a uma rua que faz parte da Comunidade Pingo D'água, situada na Zona Leste de Manaus-AM. Esta via em particular, denominada Rua Talismã, direciona as águas pluviais diretamente para a cabeceira da voçoroca, a qual foi originada por esse processo e vem avançando em direção às moradias.

Devido à proximidade da incisão erosiva em relação às moradias, essa área passou a ser considerada de risco. Molinari (2023) discute essa questão em sua tese ao questionar: "as áreas são ou se tornam de risco ambiental?". O autor responde afirmando que a origem das áreas de risco associadas ao voçorocamento em Manaus — especialmente nesta região da cidade — está diretamente ligada às características geológicas e geomorfológicas, mas também, e de forma decisiva, ao modo de produção socioespacial. Destaca-se, nesse contexto, a instalação inadequada do sistema de drenagem pluvial, que nessas áreas foi mal executado, resultando em problemas como: dimensionamento incorreto das tubulações, posicionamento inadequado das saídas de água e ausência de dissipadores de energia.

Molinari (2023) ressalta ainda que, em geral, as voçorocas ocorrem em ruas sem saída— desmatadas ou não, terraplanadas ou não —, mas que favorecem o surgimento e a evolução dessas feições erosivas devido ao direcionamento constante das águas pluviais, que escoam pelas vias e se concentram sobre encostas com acentuada declividade.

Com a ocupação de áreas susceptíveis a processos erosivos, verifica-se desde a década de 90 do século XX, uma ampliação das áreas de risco em Manaus. E essas áreas já susceptíveis do ponto de vista natural, combinadas com a vulnerabilidade social existente, só ampliam o problema em torno da ocupação e voçorocamento.

As áreas de risco em Manaus, atingem esse status geralmente após a construção de residências que se localizam na direção da evolução dessas feições erosivas ou quando essas incisões erosivas ocorrem em áreas já densamente ocupadas.

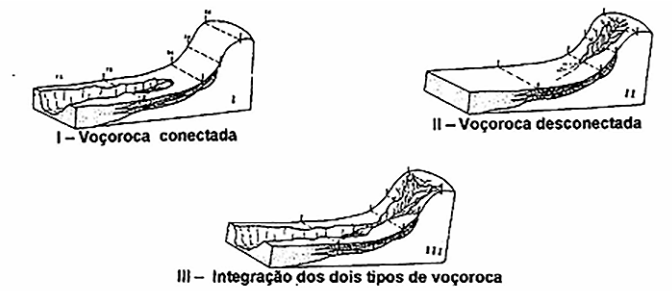
2. Voçorocas: definição e classificações

Importante deixar claro qual a definição de voçoroca utilizada neste trabalho, pois esta influencia na interpretação dos resultados, visto que existem várias definições para esse tipo de incisão. Antes de tudo deve-se esclarecer que a voçoroca não é uma erosão, um processo erosivo ou um agente erosivo, ela é o resultado da erosão dos solos por meio dos processos atuantes, tendo a água como

principal agente, logo ela é um produto da erosão, uma feição erosiva ou mesmo uma incisão erosiva (VIEIRA e FROTA FILHO, 2023a). Assim, a voçoroca é uma "incisão erosiva que apresenta queda em bloco das camadas do solo, paredes verticais, fundo plano, secção transversal em **U** e profundidade superior a 1,5 m" (VIEIRA, 2008), podendo atingir ou não o lençol freático.

Contudo, as voçorocas podem ser classificadas quanto o tipo, forma e tamanho. No que se refere ao tipo (Figura 1), estas podem ser segundo Oliveira (1989) caracterizadas como: I) conectadas (quando a incisão está ligada a algum sistema de drenagem ou ao fundo de vale); II) desconectadas (sem contato com algum canal, desenvolvendo-se na porção superior da encosta) e; III) integradas (resultante da ligação entre os dois tipos anteriores ou mesmo quando se desenvolve da porção inferior – canal ou fundo de vale, até à porção superior da encosta – podendo chegar até o platô) (VIEIRA, 2008).

Figura 1. Tipos de voçorocas



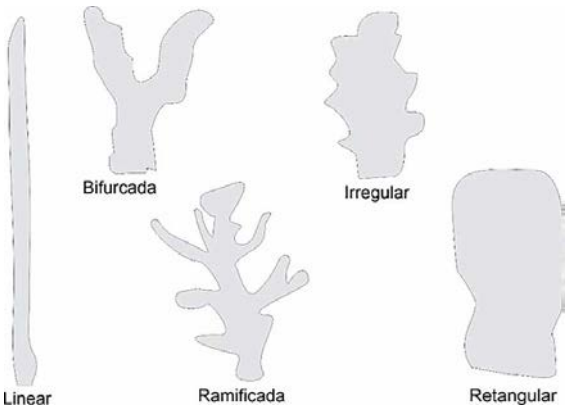
Fonte: Oliveira (1989).

As voçorocas quando atingem o lençol freático, como é o caso da maioria das voçorocas do tipo conectada e integrada, as obras de contenção, normalmente são mais complexas do que aquelas onde não aflora o lençol em seu interior. Consequentemente os custos de contenção são também mais elevados quando comparados com voçorocas de mesmo porte, mas sem a presença do lençol na superfície. Essas obras mais complexas, exigem uma maior atenção na sua aplicação, visto que o lençol alcançado pela incisão se mal drenado, tende a desestabilizar o material acima e com isso acionar a erosão, reativando a voçoroca.

Quanto à morfologia (Figura 2), as voçorocas podem ser classificadas em retangulares, irregulares, ramificadas, bifurcadas e lineares (VIEIRA, 2008). A forma linear associa-se à presença de uma zona principal de convergência de drenagem, influenciada pelas características de resistência do material e/ou pela ocorrência de controle estrutural evidente. A bifurcada apresenta duas zonas de contribuição de fluxos superficiais concentrados. Já a ramificada caracteriza-se pela presença de múltiplos canais de drenagens superficiais, sendo comum em Espodossolos ou em outros solos com teores elevados de areia e com declividade

relativamente baixa. A forma irregular pode estar relacionada à atuação de um ou mais fluxos superficiais concentrados, configurando-se como uma forma transitória entre os demais tipos. Por fim, a forma retangular pode representar, em alguns casos, o estágio final da expansão de uma das outras morfologias descritas.

Figura 2. Formas de voçorocas



Fonte: Vieira (2008).

Outra forma de classificar uma voçoroca, refere-se ao volume erodido em m^3, podendo apresentar 5 tamanhos (Quadro 1). Quanto maior o volume erodido, maiores os custos de contenção ou mesmo de reposição de material.

Quadro 1. Tamanho de voçorocas

Ord.	Volume erodido	Tamanho
1	até 999 m^3	muito pequena
2	de 1.000 m^3 até 9.999 m^3	Pequena
3	entre 10.000 e 19.999 m^3	Média
4	entre 20.000 e 40.000 m^3	Grande
5	mais de 40.000 m^3	muito grande

Fonte: Vieira e Albuquerque (2004).

3. Metodologia

Os procedimentos adotados nessa pesquisa, incluíram inicialmente o monitoramento da incisão por meio de imagens geradas por drones, e que depois de analisadas, serviram de suporte para as propostas de intervenções estruturais e não estruturais. Desta forma, pode-se dividir o trabalho em etapas, como sendo:

Localização da incisão: por meio de cadastramentos/mapeamentos realizados em momentos anteriores, buscou-se confirmar a existência e evolução da

voçoroca. Uma vez confirmada a existência desta, a mesma é inserida no banco de dados que compreende o bairro/zona/setor. Foram utilizadas imagens de alta resolução espacial, obtidas por meio de drone e tratados em ambiente de SIG para extração de informação relativas à forma, tipo e tamanho e estas ainda comparadas com as observações em campo, como orientação obtida por bússola e medições com trena. Destaca-se que o uso de técnicas de monitoramento com drones não exclui a aplicação de procedimentos mais simples, como fichas cadastrais, trena e bússola. A combinação dessas diferentes técnicas contribui para um melhor detalhamento e para a caracterização morfométrica mais precisa da voçoroca monitorada, bem como das feições secundárias associadas (VIEIRA e FROTA FILHO, 2023b).

Morfometria da incisão e risco erosivo: para isso foram utilizadas classificações como o tipo segundo Oliveira (1989), formas segundo Vieira (2008) e tamanho conforme Vieira e Albuquerque (2004) e a análise do risco erosivo segundo classificação proposta pelo Ministério das Cidades/IPT (2004), os quais se baseiam em indícios observados no local para hierarquizar os graus de risco geológicos e hidrológicos em quatro níveis: baixo (R1), médio (R2), alto (R3) e muito alto (R4). Neste trabalho foram desenvolvidas atividades nos setores de risco alto (R3) e muito alto (R4) para os processos geológicos.

A esse respeito, entende-se como risco alto segundo essa classificação, a presença significativa(s) de evidência(s) de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes etc.). Mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas.

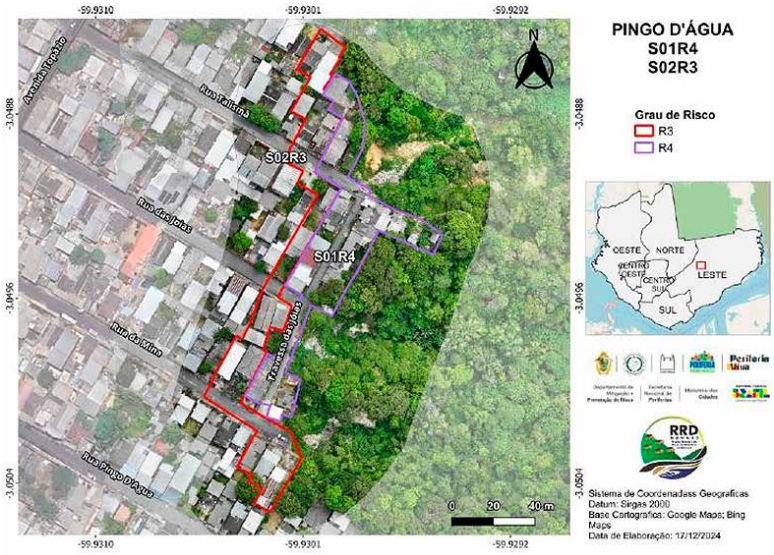
No caso de risco muito alto, as evidências de instabilidades (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de escorregamento, feições erosivas, proximidade da moradia em relação ao córrego etc.) são expressivas e estão presentes em grande número e/ou magnitude. Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas.

Sugestões de intervenções estruturais (demolições, terraplanagem, construção de sistemas de drenagem etc.) e não estruturais (remoção de resíduos sólidos, plantio de espécies vegetais, programa de conscientização junto aos moradores etc.), baseadas em outras experiências que deram certo ou baseadas em preceitos técnicos.

4. Resultados e Discussões

A área de estudo está localizada na Zona Leste da Cidade de Manaus, na Comunidade Pingo D'água (Figura 3), compreendendo uma das regiões mais afetadas pela ocorrência de voçorocamentos e onde se encontra a Comunidade Pingo D'água.

Figura 3. Localização dos setores de risco da Comunidade Pingo D'Água



Fonte: Os autores (2024).

Do ponto de vista morfométrico, a voçoroca (Figura 4) foi classificada como sendo do Tipo Conectada e Forma Retangular. Os resultados obtidos, estão aqui divididos em dois setores, sendo o setor classificado com grau de risco R4 (roxo) e o setor grau de risco R3 (vermelho), totalizando 44 edificações. As intervenções recomendadas estão associadas ao tipo de feição/processo geodinâmico identificado (feição erosiva "voçoroca" ou cicatriz de movimento de massa) e grau de risco.

Figura 4. Voçoroca da rua Topázio, Comunidade Pingo D'água – Manaus/AM



Fonte: Os autores (2024).

O Setor 01, compreende a área classificada como R4, e para esta são apresentadas três propostas estruturais e uma não estrutural, tal como segue:

Estrutural 1: Demolir as edificações inseridas no R4, na borda da voçoroca e as que estão na borda da encosta, incluindo as que estão na Travessa das Joias, voltadas para a encosta (marcadas com X na Figura 5).

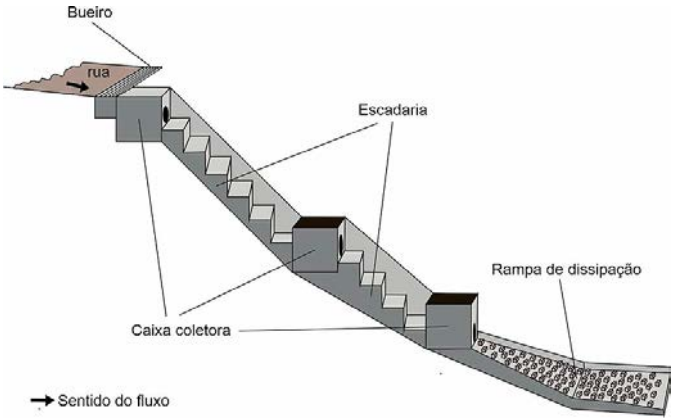
Figura 5. Setores de Risco na Comunidade Pingo D'água



Fonte: Os autores (2024).

Estrutural 2: Construção de um sistema de drenagem pluvial e das águas servidas que leve o volume captado até a porção mais inferior do vale. Ao longo do trajeto da drenagem, construir dissipadores de energia do tipo caixa de concreto e finalizar com dissipador para espraiamento da água (Figura 6).

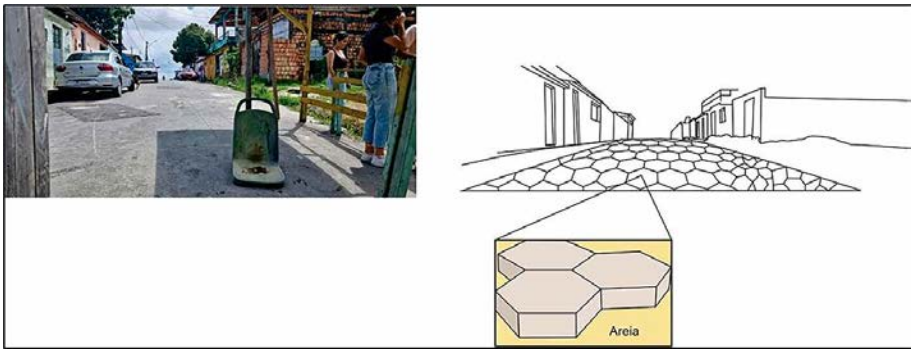
Figura 6. Sistema de drenagem proposto, vista em perfil.



Desenho: Antonio F.S.G. Vieira (19/07/2025).

Estrutural 3: Substituição do asfalto na rua Talismã (iniciando do contato com a Rua Topázio), pela lajota de concreto sextavada (Figura 7). Esse tipo de superfície ajuda a diminuir a velocidade de escoamento, ao mesmo tempo que permite a infiltração da água no terreno, desde que a ligação entre esses blocos seja feita somente por encaixe (sem uso de cimento ou concreto).

Figura 7. Exemplo de substituição do asfalto por lajota de concreto sextavada.



Fonte: Antonio F.S.G. Vieira (03/07/2025).

A proposta é indicada não somente para essa via de acesso, mas para todas as outras consideradas fontes de escoamento superficial de águas das chuvas e que estejam promovendo a formação e/ou evolução de voçorocas. O processo se inicia após a retirada do asfalto com correção da superfície do terreno, com a adição areia, que após nivelada, deverá receber as lajotas de concreto.

Essa rua em particular, apresenta pouca movimentação de veículos, visto que se trata de uma via sem saída. E como esta, verifica-se várias outras sem saída na região e que terminam numa encosta de forte declividade, às vezes já com presença de uma voçoroca ou uma cicatriz de movimento de massa.

Ainda como proposta de intervenção nesse setor (R4), está a ação não estrutural que envolve a presença de resíduos sólidos depositados no interior da voçoroca. A esse respeito, Ximenes et al. (2023), descrevem que esses resíduos são compostos predominantemente por plástico (30%), material orgânico (20%), papel (23%), metal (3%) e outros 24%. Os autores destacam que essas incisões erosivas têm sido convertidas constantemente em lixeiras irregulares, o que demonstra por um lado a falta de conscientização da população local, mas também deixa claro uma falha no sistema de coleta desses resíduos por parte do poder público municipal.

A ação proposta envolve a remoção de todo o resíduo sólido acumulado na voçoroca, o corte das bananeiras localizadas em seu interior, nas bordas e nas encostas, e, após a limpeza, introduzir vegetação adequada à recuperação de áreas degradadas, como as leguminosas e outras de porte arbustivo a subarbustivo, e que sejam nativas da região.

Ainda como ação não estrutural, deve-se executar um trabalho de conscientização junto aos moradores para o não uso da voçoroca como área de descarte de resíduos. Com as ações estruturais e não estruturais, espera-se que esta incisão entre em um estado de estabilização, trazendo assim, mais segurança para os moradores do entorno.

No caso do setor 02, classificado como grau de risco R3, mais afastado da voçoroca, a indicação é apenas de ação não estrutural, visando o monitoramento contínuo desta faixa e execução do mesmo trabalho de conscientização do setor 01.

5. Considerações Finais

Observa-se vários condicionantes que contribuem para a evolução da incisão erosiva, como a superfície e inclinação da rua Talismã, que direciona o fluxo das águas pluviais para encosta, com aumento progressivo da velocidade do escoamento em face da não existência de maiores atritos na superfície desta. Falta de um sistema de drenagem eficiente que capte todo esse volume escoado e direcione para o fundo do vale com menor velocidade. A existência de resíduos sólidos no interior da incisão que acaba por contribuir para os constantes desabamentos da parede da incisão e por fim, a ausência de vegetação no interior da incisão, que contribua para sua estabilização.

Agradecimentos

À FAPEAM, pelo financiamento do projeto “Subsídios para o plano municipal de redução de riscos socioambientais em Manaus (AM)”, e que permitiu o desenvolvimento desta pesquisa. Ao CNPq, pela concessão de bolsa através da Chamada CNPq Nº 18/2024 - Bolsas de Produtividade em Pesquisa – PQ, Número: 303158/2025-5, do 1º autor.

Referências

MINISTÉRIO DAS CIDADES / INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Treinamento de Técnicos Municipais para o Mapeamento e Gerenciamento de Áreas Urbanas com Risco de Escorregamentos, Enchentes e Inundações**. Apostila de treinamento. 2004. 73p.

MOLINARI, D.C. **Vulnerabilidade ambiental em áreas de risco à voçorocamento - Manaus (AM)**. 394f. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2023.

OLIVEIRA, M. A. T. Erosion Disconformities and Gully Morphology: A Threed-

imensional Approach. **Catena**, v. 16. p. 413-423, 1989.

VIEIRA, A.F.G.; LIMA, N.P.S.de. Mapeamento de voçorocas do sítio urbano de Manaus. In: I Simpósio Nacional de Geomorfologia. Anais. Uberlândia: **Revista Sociedade & Natureza** – EDUFU, 1996. p.210-213

VIEIRA, A.F.G. **Erosão por voçorocas em áreas urbanas**: o caso de Manaus (AM). 1998. 153f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

VIEIRA, A.F.G.; ALBUQUERQUE, A.R.C. Cadastramento de voçorocas e análise de risco erosivo em estradas: BR-174. In: V Simpósio Nacional de Geomorfologia. 2004, Santa Maria- RS. **Anais** [...]. Santa Maria: Editora da UFSM, p. 50-65, 2004.

VIEIRA, A.F.G. **Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM):** principais fatores controladores e Impactos urbano-ambientais. 310f. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

VIEIRA, A.F.S.G.; ABREU, N.R.P. Histórico das voçorocas em Manaus-Amazonas-Brasil. **Revista Geonorte**, v. 5 n. 18: out./ Edição Especial 4: SINAGEO - Geomorfologia da Amazônia. 2014. p.41-45

Disponível em: https://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1437/1322. Acesso em: 10/02/2026.

VIEIRA, A.F.S.G.; FROTA FILHO, A.B.da. Avaliação das técnicas de monitoramento de voçorocas: o exemplo da Região Metropolitana de Manaus-AM, na região amazônica. **Revista Brasileira De Geomorfologia**, *24*(00). 2023a. https://doi.org/10.20502/rbg.v24i00.2302

VIEIRA, A.F.S.G.; FROTA FILHO, A.B. Uma síntese dos estudos sobre voçorocas na Amazônia Brasileira. In: Loureiro, H.A.S.; Guerra, A.J.T. (Orgs.). **Erosão em áreas tropicias**. Rio de Janeiro: Interciência, 2023b, v. 1, p. 45-74.

XIMENES, G.P.; MOLINARI, D. C.; VIEIRA, A.F.S.G. Análise gravimétrica dos resíduos sólidos no interior de voçorocas: o caso da Bacia Hidrográfica da Colônia Antônio Aleixo (Manaus/AM). **Revista Verde Grande**, v. 5, p. 81-95, 2023. Disponível em: https://www.periodicos.unimontes.br/index.php/verdegrande/article/view/6201/6471 Acesso em 10/02/2026.

Intervenções estruturais e não estruturais em setores de risco hidrológicos em Manaus

Thayná Rosário do Nascimento
Universidade Federal do Amazonas
thayrosafield@gmail.com

Naziano Pantoja Filizola Júnior
Universidade Federal do Amazonas
naziano.filizola@gmail.com

1. Introdução

Os riscos hidrológicos associados a inundações e alagamentos urbanos configuram-se como uma das principais ameaças socioambientais em Manaus, resultantes da combinação entre elevada pluviosidade, dinâmica fluvial amazônica, expansão urbana desordenada e deficiência histórica de infraestrutura de drenagem. Esses processos afetam de forma recorrente populações residentes em fundos de vale, margens de igarapés e áreas densamente impermeabilizadas, gerando perdas materiais, impactos à saúde pública e comprometimento da mobilidade urbana.

No âmbito da elaboração do Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR), estudos realizados em 2024 identificaram sete territórios prioritários para diagnóstico e proposições de intervenções para reduzir o risco de eventos hidrológicos extremos, distribuídos em cinco bacias urbanas: Mauazinho, Mindú-São Raimundo, Educandos, Tarumã e Ceasa. Esses setores apresentam elevada susceptibilidade a alagamentos e inundações, associada a características do canal fluvial, densidade populacional e padrões de uso e ocupação do solo.

Este capítulo tem como objetivo apresentar e analisar propostas de intervenções estruturais e não estruturais voltadas à redução dos riscos hidrológicos, com ênfase no aspecto metodológico de seleção, priorização e aplicação das medidas, bem como na discussão de seus resultados esperados e implicações para o planejamento urbano de Manaus.

2. Procedimentos metodológicos

A definição das intervenções estruturais e não estruturais baseou-se em uma abordagem integrada, combinando:

• Diagnóstico hidrológico e geomorfológico das bacias urbanas;
• Análise da dinâmica dos canais fluviais, incluindo assoreamento, conectividade e capacidade de vazão;
• Caracterização do uso e ocupação do solo, com destaque para áreas densamente impermeabilizadas e ocupações em planícies de inundação;
• Observações de campo realizadas pela equipe do PMRR;
• Revisão bibliográfica e normativa sobre soluções baseadas em engenharia, infraestrutura verde e gestão integrada de riscos.

As intervenções foram classificadas em estruturais, aquelas que envolvem obras físicas ou alterações diretas no espaço urbano, e não estruturais, relacionadas ao planejamento, monitoramento, educação, governança e participação social. Para cada intervenção estrutural, adotou-se um protocolo metodológico padrão, contemplando: definição da técnica, justificativa, benefícios esperados e critérios de aplicabilidade territorial.

3. Intervenções estruturais em setores de risco hidrológico

3.1 Desassoreamento de canais fluviais

O desassoreamento consiste na remoção de sedimentos inconsolidados, matéria orgânica e resíduos sólidos acumulados no leito dos cursos d'água, com o objetivo de restabelecer a capacidade hidráulica do canal. Trata-se de uma intervenção amplamente utilizada em áreas urbanas, especialmente em contextos de elevada carga sedimentar associada à erosão das encostas e ao descarte inadequado de resíduos.

Em Manaus, a dinâmica pluviométrica intensifica o transporte de sedimentos para os igarapés urbanos, especialmente durante o período chuvoso (dezembro a abril). O acúmulo desse material reduz a seção de escoamento (Figura 1), aumentando a frequência e a magnitude das inundações. O desassoreamento, quando realizado de forma planejada e associado a ações complementares, contribui para a redução dos alagamentos e para a melhoria das condições sanitárias, embora não deva ser entendido como solução isolada e permanente.

Figura 1. Trecho do igarapé do Mindú em processo de assoreamento.



Fonte: Os autores (2026).

3.2 Pavimentação permeável

A pavimentação permeável (Figura 2) constitui uma técnica de infraestrutura sustentável que permite a infiltração da água pluvial no solo, reduzindo o escoamento superficial e a sobrecarga dos sistemas de drenagem. Em Manaus, onde predomina a pavimentação asfáltica convencional, essa técnica apresenta elevado potencial de aplicação em calçadas, estacionamentos, praças e vias de tráfego leve.

Figura 2. Diferença entre bloco de pavimentação permeável (a esquerda) e não permeável (a direita)



Fonte: UFES (2023).

A adoção de blocos intertravados drenantes, concregramas e asfalto poroso é indicada como prioritária em setores de risco nas áreas adjacentes aos igarapés do Mindú e do Areal. Além de mitigar alagamentos, a pavimentação permeável contribui para a recarga do aquífero Alter do Chão, para a redução do efeito de ilhas de calor e para a diminuição dos custos associados ao desassoreamento de canais.

3.3 Recuperação de margens com biovaletas

As biovaletas são estruturas lineares vegetadas projetadas para captar, infiltrar e filtrar a água pluvial, atuando simultaneamente como elemento de drenagem e de estabilização das margens dos cursos d'água (Figura 3). Sua aplicação é particularmente relevante em áreas onde a ocupação irregular das margens intensificou processos erosivos e instabilidade do solo.

Figura 3. Exemplo de biovaleta em zona urbana.



Fonte: Interreg (2024).

Nos trechos superiores do igarapé do Mindú, observações de campo indicaram que intervenções convencionais, como o alargamento do canal, não foram suficientes para eliminar episódios recorrentes de alagamento. A implantação de biovaletas associadas ao plantio de espécies nativas amazônicas apresenta-se como solução integrada, capaz de reduzir o escoamento superficial, estabilizar as margens e qualificar a paisagem urbana.

3.4 Instalação de ecobarreiras e dispositivos retentores

As ecobarreiras (Figura 4) e os cestos retentores em bocas de lobo (Figura 5) são dispositivos de baixo custo destinados à retenção de resíduos sólidos transportados pelas águas pluviais. Em Manaus, onde o descarte inadequado de lixo constitui fator agravante dos riscos hidrológicos, essas intervenções desempenham papel relevante tanto na mitigação de alagamentos quanto na educação ambiental.

Figura 4. Ecobarreira em igarapé da cidade de Manaus



Fonte: Prefeitura de Manaus (2024).

Figura 5. Cestos retentores contendo lixo descartado de forma irregular



Fonte: G1 (2021). Foto: Ascom/Sudes.

Além de evitar o entupimento de galerias e canais, esses dispositivos permitem ações de coleta seletiva e possuem elevado potencial pedagógico, especialmente quando associados a programas comunitários e escolares.

3.5 Escadas hidráulicas, alagados naturais e parques lineares

A instalação de escadas hidráulicas em áreas de forte declividade (Figura 6 a, b) visa dissipar a energia do escoamento superficial, reduzindo processos erosivos e riscos de deslizamentos. Já a preservação e recuperação de alagados naturais baseia-se no chamado “efeito esponja”, fundamental para a retenção temporária das águas pluviais.

Figura 6. Exemplo de escada hidráulica em Manaus.



Fonte: Os autores (2026).

A construção de parques lineares, por sua vez, representa uma estratégia de longo prazo para a redução de riscos, ao preservar planícies de inundação, impedir novas ocupações irregulares e integrar lazer, mobilidade e educação ambiental à dinâmica fluvial urbana.

4. Intervenções não estruturais e governança do risco

As intervenções não estruturais complementam as ações físicas e são essenciais para a sustentabilidade das políticas de redução de riscos. Em Manaus, destacam-se:

- Sistemas de monitoramento e alerta, integrando Defesa Civil Municipal e Estadual, CEMADEN, INMET, CENSIPAM, institutos de pesquisas e universidades;
- Mapeamento e sinalização de rotas de fuga, articuladas a equipamentos públicos seguros;
- Participação comunitária, por meio da capacitação de lideranças, campa-

nhas educativas, sinalização e envolvimento na definição das prioridades;
• Aproveitamento de programas existentes, como projetos de educação ambiental e arborização urbana.

Essas medidas fortalecem a capacidade adaptativa das comunidades e reduzem a dependência exclusiva de obras estruturais.

5. Considerações finais

As propostas de intervenções estruturais e não estruturais para os setores de risco hidrológico em Manaus devem evidenciar que a redução de riscos exige abordagens integradas, territoriais e participativas. Medidas pontuais, quando aplicadas de forma isolada e sem engajamento comunitário, tendem a produzir resultados limitados ou temporários.

Tais propostas devem articular diagnóstico técnico, observações de campo e combinação de soluções baseadas em infraestrutura cinza e verde, para que possa avançar na construção de uma política preventiva e sustentável. As intervenções aqui discutidas oferecem uma visão inicial para considerar no planejamento urbano, na gestão ambiental e na adaptação climática em Manaus, devendo ser implementadas de forma progressiva, monitorada e socialmente pactuada.

Referências

G1 ALAGOAS. **Bueiros inteligentes começam a ser instalados em Maceió para prevenir alagamentos.** G1, São Paulo, 03 mar. 2022. Disponível em: https://g1.globo.com/al/alagoas/arquivo/noticia/2022/03/03/bueiros-inteligentes--comecam-a-ser-instalados-em-maceio-para-prevenir-alagamentos.ghtml. Acesso em: *08 jan 2026.*

INTERREG CENTRAL EUROPE. **Bioswales: Nature's Solution for Sustainable Stormwater Management and Urban Biodiversity.** Viena: GreenScape CE, 05 ago. 2024. Disponível em: https://www.interreg-central.eu/news/bioswales-natures-solution-for-sustainable-stormwater-management-and-urban-biodiversity/. Acesso em: *08 jan 2026.*

PREFEITURA DE MANAUS. **Ecobarreiras instaladas pela Prefeitura de Manaus são aliadas essenciais na contenção de resíduos durante o período de chuvas.** Disponível em: https://www.manaus.am.gov.br/noticia/prevencao/ecobarreiras-aliadas-contencao-residuos-durante-periodo-chuva/

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO – UFES. **Pavimento permeável que reduz alagamento será utilizado na Barra do Jucu.** Ufes, Vila Velha, 02 jul. 2019 (atualizado em 04 jul. 2019). Disponível em: https://www.ufes.

br/conteudo/pavimento-permeavel-que-reduz-alagamento-sera-utilizado-na-barra-do-jucu. Acesso em: *08 jan 2026.*

Glossário

Adaptação climática – Conjunto de estratégias e medidas destinadas a reduzir a vulnerabilidade de sistemas naturais e humanos frente aos impactos das mudanças climáticas.

Alagamento – Extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e consequentemente acúmulo de água em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas.

Análise morfométrica – Estudo quantitativo das formas do relevo e das bacias hidrográficas, utilizando parâmetros geométricos e topográficos.

Bacia hidrográfica – Unidade territorial delimitada por divisores topográficos, na qual toda a água precipitada converge para um único ponto de saída.

Biovaleta – Estrutura linear de drenagem sustentável que promove infiltração e retenção de águas pluviais por meio de vegetação e substrato filtrante.

Declividade – Inclinação da superfície do terreno, geralmente expressa em porcentagem ou graus.

Deslizamento – Movimentos de massa, onde há uma zona distinta de fraqueza que separa o material deslizado do material subjacente mais estável. Podem ser do tipo rotacional ou translacional.

Enchente – Elevação do nível de água de um rio, acima de sua vazão normal. Termo normalmente usados como sinônimo de inundação.

Domínio geomorfológico – Compartimentação espacial baseada em características estruturais, morfométricas e processuais do relevo.

Erosividade da chuva – Potencial da precipitação em provocar erosão do solo.

Geomorfologia – Ciência que estuda as formas do relevo, seus processos de formação e evolução.

Governança participativa – Modelo de gestão que integra poder público, comunidade e instituições científicas na tomada de decisões.

Índice de Dissecação do Relevo (IDR) – Indicador da intensidade de entalhamento e fragmentação do relevo.

Infraestrutura verde-azul – Sistema integrado de soluções naturais e hídricas para gestão ambiental urbana.

Inundação – submersão de áreas fora dos limites normais de um curso d'água em zonas que normalmente não se encontram submersas.

Lógica Fuzzy – Método matemático que permite modelar fenômenos com graus graduais de pertinência, em vez de valores binários.

Movimentos de massa – São processos que resultam no movimento descendente de rochas, solo, aterro artificial ou uma combinação destes.

Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR) – Instrumento técnico de pla-

nejamento voltado à identificação e mitigação de riscos em ambientes urbanos.

Resiliência urbana – Capacidade da cidade de resistir, adaptar-se e recuperar-se de eventos adversos.

Risco socioambiental – Probabilidade de ocorrência de evento adverso combinada à vulnerabilidade social.

Setor de risco – Área delimitada com potencial significativo de ocorrência de desastre.

Sistema de Informações geográfica (SIG) – Sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também através de sua localização espacial. Exemplos: ArcGIS, QGIS, TerraView.

Soluções Baseadas na Natureza (SBN) – Intervenções que utilizam processos naturais para enfrentar desafios urbanos e climáticos.

Vulnerabilidade ambiental – Grau de suscetibilidade de uma área a sofrer impactos negativos decorrentes de processos naturais e ações humanas.

Voçoroca – Incisão erosiva que apresenta queda em bloco das camadas do solo, paredes verticais, fundo plano, secção transversal em **U** e profundidade superior a 1,5 m.

Apêndice I - Ficha de Campo para atividade de diagnóstico e avaliação de Setores de Risco

Data da Visita: / /

Equipe presente:_____

Hora da visita:

Condições do Tempo: ( ) Ensolarado ( ) Nublado ( ) Chuvoso

Município/UF:	**Comunidade**:	**Zona Administrativa:** ( ) Centro-Sul ( ) Centro-Oeste ( ) Sul ( ) Oeste ( ) Norte ( ) Leste	
Latitude: **Longitude:**		Área (m^2):	**ID do Setor:**

Aspectos: Territoriais, Infraestrutura e socioeconômicos

Estimativa de nº moradias:	Estimativa de nº famílias:
Próximo de escola: Sim ( ) Não ( )	Próximo de posto de saúde: Sim ( ) Não ( )
Tipo de acesso: ( ) Pavimentada ( ) Não pavimentada ( ) Trilha ( ) Beco ( ) Canal fluvial ( ) Outros	Condições de acesso: ( ) Veículo de 4 rodas ( ) Veículo de 2 rodas ( ) A pé ( ) Embarcação ( ) Outros?
Tipologia construtiva: ( ) Madeira ( ) Alvenaria ( ) Mista ( ) Plástica/madeirite ( ) Palha ( ) Outros?	Abastecimento de água: ( ) Oficial ( ) Não oficial
Tratamento de esgoto: ( ) Canalizado até a rede oficial ( ) Fossa ( ) Lançado diretamente na encosta ( ) Lançado diretamente no canal ( ) Outros?	Moradores recebem algum tipo de benefício: ( ) Bolsa família ( ) Auxílio emergencial ( ) Bolsa família municipal ( ) Auxílio aluguel ( ) Outros?

Vulnerabilidade

Indicativos de danos materiais (perdas): ( ) De área ( ) De casas ( ) De drenagem ( ) De rede elétrica ( ) De esgoto ( ) De água encanada ( ) Outros?	Vulnerabilidade das instalações: ( ) Baixa ( ) Média ( ) Alta ( ) Muito Alta
Distância do imóvel ao talude: ( ) 0 a 3m ( ) 3 a 6m ( ) 6 a 9m ( ) 9 a 12m ( ) Outros?	Distância do igarapé: ( ) 0 a 3 m ( ) 3 a 6 m ( ) 6 a 9 m ( ) 9 a 12 m ( ) Outros?
Tipo de Risco: ( ) Hidrológico ( ) Geológico	Há necessidade de ações emergenciais? Sim ( ) Não ( ) Quais?

Histórico

Imprensa já realizou reportagem: ( ) Sim ( ) Não Se sim, qual data (mês/ ano) ___/___ Emissora/programa:	Ações do poder público: ( ) Defesa Civil ( ) SEMMAS ( ) SEMASC ( ) SEMINF ( ) Outra?
Intervenção de órgão público (Ministério Público, Defensoria Pública, etc..): ( ) Sim ( ) Não Qual?	Algum tipo de incidente: ( ) Animal peçonhento ( ) Proliferação de roedor ( ) Alguém teve doença ligada a vetor (dengue, malária) ( ) Sofrimento Psíquico em relação ao crescimento da incisão erosiva ( ) Alagamento
Há presença de marcas como indicativo de desastre? ( ) sim ( ) não Qual?	O risco: ( ) Cresce ( ) está estabilizado Período do ano no caso de crescimento?
Quantas casas estão comprometidas e de que maneira?	Há presença de animais domésticos ? ( ) Sim ( ) Não Quantos:

Aspectos Físicos e do Risco

Litologia: ( ) pelito/argiltito ( ) depósitos aluvionares ( ) arenito ( ) conglomerado ( ) Outros?	Solo: ( ) arenoso ( ) argiloso ( ) areno-argiloso ( ) argilo arenoso ( ) humoso ( ) Outro?
Geomorfologia: ( ) Platô ( ) Vertente ( ) Planície ( ) Canal fluvial ( ) Outro?	Tipo de cobertura: ( ) material empréstimo ( ) resíduos sólidos ( ) solo ( ) Outros?
Inclinação da vertente:	Classe de declividade: ( ) plano ( ) suave-ondulado ( ) ondulado ( ) forte ondulado
Forma da vertente: ( ) Côncava-convergente ( ) Côncava- planar ( ) Côncava-divergente ( ) Retilínea-convergente ( ) Retilínea-planar ( ) Retilínea-divergente ( ) Convexa- convergente ( ) Convexa-planar ( ) Convexa-divergente	Nível de dissecação do relevo: ( ) muito baixo ( ) baixo ( ) alto ( ) muito alto Altitude máxima do relevo:

Características da voçoroca quanto a: Tipo: ( ) Desconectada ( ) Conectada ( ) Integrada ( ) Não se aplica. Forma: ( ) Linear ( ) Bifurcada ( ) Ramificada ( ) Irregular ( ) Retangular	Agentes potencializadores do risco: ( ) Infraestrutura urbana inadequada ( ) Lançamento de água servida ou pluvial ( ) Fossa ( ) Lixo/Entulho ( ) Aterro/Bota fora ( ) Vegetação inadequada ( ) Tubulação rompida
Indicativos de movimentação: ( ) Inclinação do muro ( ) Inclinação da árvore ( ) Inclinação do poste ( ) Degraus e abatimentos ( ) Trincas no terreno ( ) Trincas na moradia ( ) Muros/paredes deformadas ( ) Cicatriz de deslizamento ( ) Outros?	Processo/ feições geodinâmicas: ( ) Ravina ( ) Voçoroca ( ) Queda/rolamento de blocos ( ) Deslizamento translacional ( ) Deslizamento rotacional ( ) Alagamento ( ) Enxurrada ( ) Inundação ( ) Corridas de massa ( ) Rastejo ( ) Colapso ( ) Solapamento ( ) Subsidência
Tipos de contato de perfil: ( ) Plano ( ) Ondulado ( ) Irregular ( ) Quebrada	Probabilidade de ocorrência do risco: ( ) Baixa ( ) Média ( ) Alta ( ) Muito alta
As condições de drenagem pluvial interferem no crescimento da incisão erosiva/ cicatriz de movimento de massa? ( ) Sim ( ) Não	Água circulante: ( ) Sim ( ) Não ( ) Fluxo concentrado ( ) Laminar
Identificação do cenário hidrológico presente: ( ) Enchente e inundação lenta de planícies fluviais ( ) Enchente e inundação com alta energia cinética; ( ) Enchente e inundação com alta energia de escoamento e capacidade de transporte de material sólido	Agentes potencializadores do risco: ( ) Infraestrutura urbana inadequada ( ) Lançamento de água servida ou pluvial ( ) Tubulação rompida ( ) Concentração inadequada de fluxo ( ) Vegetação inadequada ( ) Assoreamento do canal
Tamanho aproximado da largura e do comprimento da drenagem no setor (m):	Profundidade média estimada da drenagem (m):

Tipo de drenagem pluvial: ( ) Boca-de-lobo ( ) Tampa da caixa de drenagem ( ) Sarjeta ( ) Meio fio ( ) Poço de visita ( ) Galeria ( ) Tubo de ligação ( ) Condutos forçados ( ) Estação de bombeamento	Altura máxima estimada da água durante evento extremo que atingiu as moradias (cm):
Última data da ocorrência (mês/ano): _____/_____/ _____	Duração aproximada do nível de água elevada: ( ) Horas ( ) Dias ( ) Semanas ( ) Um mês ( ) Mais que um mês
A ocorrência afetou: ( ) Casas ( ) Prédios ( ) Ruas ( ) Bairro ( ) Comunidades ribeirinhas ( ) Outros?	A ocorrência trouxe como material: ( ) Sedimentos ( ) Resíduos sólidos ( ) Outros?
Tipo de canal: ( ) retilíneo ( ) meandrante ( ) retificado/concreto	Probabilidade de ocorrência do risco: ( ) Baixa ( ) Média ( ) Alta ( ) Muito alta

Observações de Campo:

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

Apêndice II – SIG do Projeto RRD Manaus

O conjunto de dados georreferenciados, disponibilizado no formato GeoPackage (gpkg), foi produzido no âmbito do projeto "Subsídios para o Plano Municipal de Redução de Riscos Socioambientais em Manaus (AM)" com a finalidade de auxiliar análises espaciais, diagnósticos territoriais e a elaboração de produtos cartográficos voltados à identificação e caracterização de setores de risco. O arquivo integra camadas vetoriais e matriciais (rasters) para uso em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), com plena compatibilidade de visualização, consulta e edição no QGIS. O gpkg encontra-se estruturado por temas, facilitando o gerenciamento do acervo e a replicação de procedimentos analíticos:

(i) Base cartográfica – reúne camadas de referência territorial e urbana, incluindo: limite de bairros (vetorial), favelas e comunidades urbanas (vetorial), comunidades urbanas ribeirinhas (vetorial), distância a favelas (matricial) e área urbana (vetorial).

(ii) Hidrografia – contempla insumos para análises hidrológicas e de proximidade com drenagens, incorporando: bacias hidrográficas (vetorial), distância à drenagem (matricial) e canais de drenagem (vetorial).

(iii) Geomorfologia – agrega informações morfométricas e de condicionantes do relevo, incluindo: domínios geomorfológicos (vetorial), hipsometria (matricial), declividade (matricial) e erosividade (matricial).

(iv) Vulnerabilidade – disponibiliza superfícies de síntese voltadas ao planejamento, compostas por: vulnerabilidade a deslizamentos (matricial) e vulnerabilidade a inundações (matricial).

Base de dados disponível em: osf.io/ks5v9

Apêndice III - Protocolo orientador para aerolevantamento com Drone aplicado ao mapeamento de setores de risco

O sobrevoo das áreas de mapeamento com veículo aéreo não tripulado (VANT/Drone) tem por finalidade obter fotografias atualizadas, em geometrias zenital (visada ao nadir) e oblíqua, para:

(i) identificação preliminar de áreas-alvo de mapeamento;

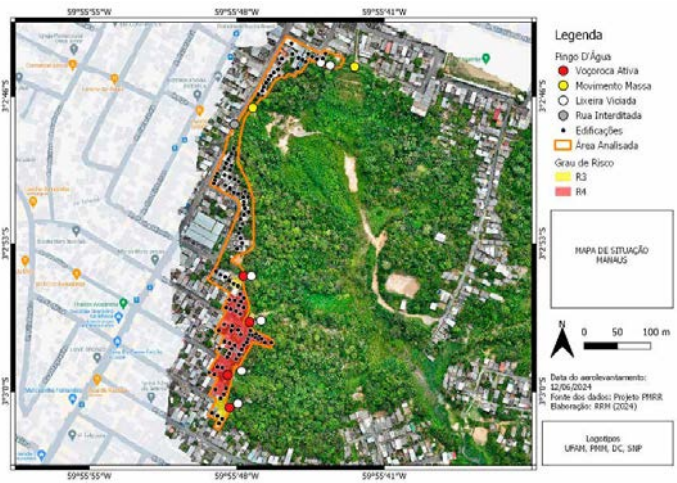
(ii) documentação visual do estado recente do terreno e da ocupação;

(iii) construção de base cartográfica de alta resolução (ortofotos/ortomosaico) que servirá de referência para a delimitação dos setores de risco.

Recomenda-se que a identificação preliminar seja realizada em escala compatível com a leitura de edificações, ruas, vertentes e microbacias urbanas, de modo a reconhecer os territórios prioritários a serem detalhados em campo e em escritório.

Para o PMRR de Manaus, a base cartográfica foi composta por aerolevantamento de alta resolução (fotos oblíquas e ortofotos), complementada por imagens de satélites, em escala 1:2.000 ou maior e referenciada no sistema SIRGAS 2000 (Figura 1). Quando houver necessidade de suporte altimétrico adicional (por exemplo, para análises hidrológicas ou comparação com bases oficiais), recomenda-se empregar carta topográfica compatível com a escala de trabalho e/ou modelos digitais disponíveis, respeitando a coerência de Datum, projeção e metadados.

Figura 1. Modelo de mapa temático produzido com drone e visita de campo.



Fonte: Rogério Ribeiro Marinho (2024)

Conceitos essenciais

Fotografias aéreas não são sinônimos de mapas. Imagens aéreas apresentam distorções geométricas (perspectiva, deslocamento de relevo, inclinação da câmera), exigindo processamento fotogramétrico para produzir ortofotos e modelos de elevação consistentes.

Sobreposição e paralaxe são a base da visão em três dimensões (3D). A reconstrução tridimensional, e produtos como nuvem de pontos e modelos digitais, depende de imagens sobrepostas e de pontos homólogos identificáveis entre fotografias.

Ortofoto/ortomosaico (Figura 2a) é um produto cartográfico que foi retificado, adequado à vetorização de limites e demais feições altimétricas e planimétricas em SIG.

Modelo Digital de Superfície (MDS) representa a superfície com objetos (edificações, vegetação), útil para leitura urbana e volumetria (Figura 2b).

Modelo Digital de Terreno (MDT): representa o terreno com a "terra nua" (quando possível), essencial para declividade, curvatura, drenagem e análise geomorfológica/hidrológica.

Setor de risco é síntese técnico-territorial. O drone apoia a evidência espacial (processos e ocupação), mas a classificação de setor de risco requer integração com critérios do PMRR, registros de ocorrências e verificação em campo.

Figura 2. Exemplo de produtores fotogramétricos produzidos para o PMRR de Manaus. Ortomosaico (a) e MDS (b).



(a) (b)

Fonte: Severo (2024).

Recomendações operacionais para aquisição de imagens aéreas

Geometrias de captura

• Zenital (nadir): priorizada para construir ortofotos/ortomosaicos e derivação de modelos digitais, permitindo padronização e melhor desempenho em processamento fotogramétrico.

• Oblíqua: recomendada para análise visual de encostas, taludes, voçorocas e frentes erosivas, pois melhora a visualização de paredes, cortes, degraus de abatimento e interfaces entre a ocupação, relevo e vegetação. Em áreas urbanas densas, a foto oblíqua reduz "oclusões" de fachadas e pode aumentar o reconhecimento de elementos críticos (Figura 3).

Figura 3. Exemplo de fotografia aérea obliqua e elementos de risco interpretados para o PMRR de Manaus.



Fonte: PMRR (2025)

Parâmetros orientadores

Como referência operacional para o levantamento de fotos aéreas com drone em setores de risco, adota-se o conjunto de parâmetros orientadores abaixo, que deve ser ajustado à complexidade do terreno, às restrições do local e ao objetivo cartográfico:

• Altura de voo: entre 80 m e 100 m.
• Ângulo de captura: entre 40° e 50° (adequado a aquisição oblíqua quando necessário).
• Velocidade de cruzeiro: entre 9 m/s e 12 m/s.
• Sobreposição lateral: menor que 80%.
• Sobreposição longitudinal: menor que 80%.

Na prática fotogramétrica, sobreposições elevadas tendem a aumentar a robustez do processamento, especialmente em áreas com sombras, vegetação, superfícies homogêneas e alta complexidade urbana. Assim, embora os valores aci-

ma sejam apresentados como referência, recomenda-se que as equipes avaliem, em campo e em testes, a necessidade de sobreposições iguais ou superiores a 80% quando o objetivo incluir MDT mais estável e comparações multitemporais.

Condições de voo, segurança e conformidade

• Realizar inspeção prévia da área, como a presença de fiação, antenas, árvores altas, obstáculos, áreas de aglomeração e possíveis interferências de zonas restritas (aeroportos, presídios e termoelétricas).

• Planejar rotas e pontos de decolagem/pouso seguros, com margem para perda de sinal e retorno automático do drone.

• Evitar voos com vento forte e chuva, considerar a variabilidade de pancadas convectivas e a rápida mudança de iluminação.

• Registrar metadados de missão, como a data/hora, condições meteorológicas, altura, velocidade, orientação das linhas de voo, tipo de captura (zenital/oblíqua), câmera/sensor, parâmetros de exposição (quando aplicável) e área coberta.

Construção da base cartográfica

• Produzir e organizar a base em SIRGAS 2000, com documentação do sistema de projeção adotado no município (por exemplo, UTM e o fuso correspondente).

• Priorizar produtos em escala 1:2.000 ou maior (isto é, mais detalhada), compatíveis com delimitação de setores de risco e leitura de feições urbanas finas.

• Garantir consistência com outras bases (imagens orbitais, cartas, cadastro e dados municipais), evitando misturas de Datum e projeções.

• Sempre que possível, utilizar pontos de controle em solo (GCPs) bem distribuídos e pontos de verificação independentes (check points) para avaliação do erro posicional.

• Recomenda-se reportar métricas da qualidade planimétrica, como o RMSE e/ou indicadores equivalentes (por exemplo, CE90), especialmente quando as ortofotos e modelos digitais forem usados para comparações temporais (antes/depois de chuvas fortes, evolução de erosões, alterações em taludes).

• Para monitoramento multitemporal, padronizar (i) parâmetros de voo; (ii) configuração do processamento; (iii) estratégia de controle em solo; e (iv) documentação de mudanças operacionais (equipamento, câmera, software).

A base cartográfica e fotografias obliquas geradas por drone devem ser utilizadas, prioritariamente, para:

- Triagem e identificação preliminar de áreas-alvo: reconhecer encostas com cortes recentes, bordas instáveis, concentração de enxurrada, fundos de vale ocupados e trechos com drenagem deficiente.
- Delimitação cartográfica: vetorização de limites de feições e setores de risco em SIG sobre ortofoto em alta resolução.
- Suporte à análise geomorfológica/hidrológica: derivar declividade e outras variáveis do MDS, mapeando trajetórias preferenciais de escoamento, convergência topográfica e pontos potenciais de acúmulo.
- Documentação técnica e comunicação: registrar evidências de risco para relatórios do PMRR, notas técnicas e comunicação intersetorial (Defesa Civil, obras, planejamento), incluindo modelos 3D quando apropriado.

Para garantir reprodutibilidade e uso institucional, recomenda-se que cada missão de aerolevantamento produza, no mínimo:

- Ortomosaico/ortofoto georreferenciado (formato GeoTIFF preferencial).
- MDS e, quando aplicável, MDT/DEM com metadados.
- Relatório de missão com parâmetros (altura, velocidade, ângulo, sobreposição planejada, área, data/hora, condições meteorológicas) e controle de qualidade (pontos usados, erros, limitações).
- Pasta padronizada de armazenamento: /Aerolevantamentos/AAAA-MM-DD_Localidade/, com subpastas para imagens brutas, projetos de processamento, produtos e relatório.

Considerações finais

O aerolevantamento com VANT/Drone, quando executado com parâmetros controlados e documentação adequada, fortalece a capacidade de planos e projetos de redução de risco ao produzir uma base cartográfica de alta resolução e atualizada, indispensável para identificar, delimitar e monitorar setores de risco.

O sucesso, contudo, depende de padronização mínima (geometria de aquisição, sobreposição, registro de metadados, controle de qualidade) e do entendimento de suas limitações em ambiente urbano amazônico (sombreamento, oclusão por vegetação e restrições operacionais).

Este apêndice é uma referência inicial para planejamento e execução de missões, com atualizações periódicas a partir da experiência acumulada pelas equipes municipais e pelos parceiros técnicos envolvidos no desenvolvimento do PMRR de Manaus.

Leituras recomendas

FERREIRA, A. T. S. et al. Beach surface model construction: A strategy approach with structure from motion-multi-view stereo. **MethodsX**, v. 12, p. 102694, 2024.

FITZ, Paulo Roberto. **Cartografia básica**. Oficina de Textos, 2008.

JENSEN, John R.; EPIPHANIO, José Carlos Neves. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2009.

MARINHO, Rogério Ribeiro; CAMARGO, Flávio Fortes. Avaliação geométrica de ortoimagem TerraSAR-X para mapeamento florestal na Amazônia Brasileira. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 17, p. 3354-3360. 2015.

Índice Remissivo

A
Adaptação Climática, 13, 19, 26, 46, 97
Alagamentos, 20, 21, 35, 36, 41, 45, 91, 92, 94, 95, 97
Análise Geomorfológica, 30, 40, 113

B
Bacias Hidrográficas Urbanas, 11, 30, 42, 45

C
Compartimentação Geomorfológica, 30

D
Defesa Civil, 7, 15, 20, 21, 24, 41, 43, 64, 69, 74, 75, 76, 77, 96, 102, 113, 117
Deslizamentos, 11, 13, 20, 22, 29, 34, 35, 37, 38, 47, 48, 54, 55, 56, 58, 73, 76, 96, 107

E
Erosividade, 52, 60, 61, 99
Escoamento Superficial, 23, 49, 53, 88, 93, 94, 96

G
Geomorfologia, 37, 39, 46
Governança Integrada, 23

H
Hipsometria, 30, 107

I
IDR - Índice de Dissecação do Relevo Inundações, 30, 31, 37, 99

L
Lógica Fuzzy, 11, 47, 54, 99

M
Movimentos de Massa, 33, 37, 41, 46, 48, 49, 76, 119

O
Ocupação Irregular, 94

P
Periferização do Risco, 20
PMRR - Plano Municipal de Redução de Riscos, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 29, 73, 75, 76, 77, 91, 92, 99, 109, 110, 111, 113, 117

R
Resiliência Urbana, 7, 22, 26
Risco Geológico, 27, 34, 39, 46
Risco Hidrológico, 11, 15, 14, 91, 118

S
Setores de Risco, 11, 13, 14, 15, 19, 20, 21, 22, 29, 34, 35, 37, 38, 41, 45, 73, 85, 86, 92, 94, 97, 101, 107, 109, 111, 112, 113

V
Voçorocamento, 34, 82
Vulnerabilidade ambiental, 27, 89, 100
Vulnerabilidade Hidrológica, 41, 42, 43, 44, 45, 68
Vulnerabilidades Sociais, 19

Biografia dos Autores

Rogério Ribeiro Marinho é professor pesquisador no Departamento de Geografia da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), em Manaus, Brasil. Coordenou a elaboração do primeiro Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR) de Manaus, desenvolvido entre 2024 e 2025. Vice-líder do Grupo de Pesquisa Geografia Física da Amazônia. Coordenador do Laboratório de Hidrogeografia, Climatologia e Análise Ambiental da Amazônia (HIDROGEO), onde também orienta alunos de mestrado e doutorado em temas relacionados à Geotecnologia, à Geografia Física da Amazônia e à Redução de Riscos de Desastres. Sua produção acadêmica inclui dezenas de artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais.

Diogo Ferreira Ribeiro é graduado em Geografia (Bacharelado) pela Universidade Federal do Amazonas - UFAM (2024). Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais - PPGCIAMB (UFG). Vinculado ao Laboratório de Hidrogeografia, Climatologia e Análise Ambiental da Amazônia - HIDROGEO (UFAM) e Laboratório de Geomorfologia, Pedologia e Geografia Física - LABOGEF (UFG). Membro do grupo de pesquisa Hidrossistemas e o Homem na Amazônia (H2A) e Geografia Física da Amazônia. Atua na área de Geografia Física, com ênfase em Geomorfologia, Geomorfologia Fluvial, Hidrografia, Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto aplicado à análise ambiental e hidrogeomorfológica na Amazônia.

Edgardo Latrubesse é professor e consultor ambiental. Professor do Curso de Pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Goiás (CIAMB). Possui graduação (1989) e doutorado em Ciências Geológicas (1992), pela Universidade Nacional de San Luis, Argentina. Especialista em Geomorfologia Fluvial, Hidrologia, Geomorfologia e Quaternário dos Trópicos globais, Manejo e impactos em grandes rios. Foi premiado com a Gilbert Award por excelência em Geomorfologia (AAG), Prêmio Internacional de médio ambiente Gonzales de Linares (Espanha), T. W Rivers International Distinguished Professor na East Carolina University (2008-2009).

Thayná Rosário do Nascimento é bacharel em Geologia e Mestranda em Geociências pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Atuou como estagiária na Defesa Civil do Amazonas entre os anos de 2022 e 2023 e como estagiária no laboratório de Sensoriamento Remoto no ano de 2023. Em 2021, foi orientada pelo Prof. Dr. Naziano Filizola, no projeto intitulado Impactos geomorfológicos no meio fluvial de eventos hidrológicos extremos na calha do rio Juruá.

Desde 2024 está integrada em pesquisas que envolve áreas de risco hidrológicos e geomorfológicos na cidade de Manaus.

Naziano Pantoja Filizola Junior é Professor do Departamento de Geociências (Graduação e Pós-Graduação) na Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e do Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e Universidade do Estado do Amazonas (CLIAMB/INPA-UEA). Líder do Grupo de pesquisas Hidrossistemas e o Homem na Amazônia (H2A) é Doutor em Hidrologia & Geologia pela Universidade Paul Sabatier - Toulouse III, França (UPS, 2003), Mestre em Geologia Regional (1997) e Geólogo (1992) pela Universidade de Brasília. Atua principalmente na temática da Dinâmica & Geomorfologia Fluvial e da Gestão de Recursos Hídricos na Amazônia desde os anos 90.

João Cândido André da Silva Neto é Professor Adjunto do Departamento de Geografia e Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Amazonas, integra o Laboratório HIDROGEO - Hidrogeografia, Climatologia e Análise Ambiental da Amazônia. Possui graduação em Geografia pela UFMS/CPAQ (2005), Mestrado em Geografia pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul CPAQ (2008) e Doutorado em Geografia pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Presidente Prudente (2013) e Pós-doutorado em Geografia pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Tem experiência na área de Geografia Física, com ênfase em Vulnerabilidade Ambiental e socioambiental, Modelagem ambiental, Risco socioambiental, Análise Ambiental em bacias hidrográficas, Mudanças do uso e cobertura da terra, Biogeografia e Geotecnologias.

Deivison Carvalho Molinari é doutor em Geografia (PPGEOG/UFAM, 2023). Mestre em Geografia (PPGEO/UFSC, 2007), Bacharel em Geografia pela Universidade Federal do Amazonas (2004) e Advogado (OAB/AM). Professor do Depto. de Geografia da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), atuando na área de Geografia e Ambiente, com ênfase nos seguintes temas: a) Diagnóstico, recuperação e perícia em impactos ambientais; b) Elaboração de Relatórios Técnicos (EIV, PRAD, PCA, EIA-RIMA) em processo de licenciamento ambiental; c) Perícia judicial na área ambiental; d) Geomorfologia: ensino, mapeamento e caracterização; e) Diagnóstico e Prognóstico de áreas de Vulnerabilidade ambiental (erosão e movimento de massa); f) Levantamento/diagnostico socioambiental em comunidades ribeirinhas na Amazônia; g) Analise Ambiental em Unidades de Conservação na Amazônia (conflitos, gestão, monitoramento); h) Avaliação de Politicas Publicas com ênfase a Gestão Municipal/Estadual; e, i) Legislação Ambiental, Administrativa, Urbanística e Fundiária aplicada aos estudos urbanos e rurais. É membro da Rede de Pesquisadores em Geografia (Socio)Ambiental/

RP-G(S)A, Vice-coordenador do Grupo de Pesquisa Governança Ambiental e Bioeconomia (UFAM).

Antonio Fábio Sabbá Guimarães Vieira possui graduação em Geografia (Licenciatura e Bacharelado) pela Universidade Federal do Amazonas (1995). Mestrado (1998) e doutorado (2008) em Geografia pela Universidade Federal de Santa Catarina. Pós-doutorado pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (2023). Professor Titular do Departamento de Geografia e do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Amazonas-UFAM. Coordenador do Programa de Pós-graduação em Geografia (2024 – 2026). Coordenador do Laboratório de Análise e Tratamento de Sedimentos e Solos - LATOSSOLO/DEGEO-UFAM e do Laboratório de Geodinâmica Superficial - LAGES/DEGEO-UFAM. Vice-coordenador do Laboratório de Geografia Física. Líder do Grupo de Pesquisa Geografia Física da Amazônia. Foi Chefe do Departamento de Geografia, Coordenador do Bacharelado em Geografia e editor da Revista GEONORTE. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Geografia Física, atuando principalmente nos seguintes temas: voçorocas, impactos ambientais, movimentos de massa e solos.



ROGÉRIO RIBEIRO MARINHO

Geógrafo pela Universidade Federal do Amazonas. Mestre em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Doutor em Clima e Ambiente pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. É professor de Graduação e Pós-Graduação na Universidade Federal do Amazonas. Tem experiências nas áreas de Geografia Física, Sensoriamento Remoto e Avaliação de Riscos Hidro-Geo-Climáticos.

Currículo Lattes:
http://lattes.cnpq.br/0431904514470921

Saiba Mais:

@PMRR.MANAUS

HIDROGEO UFAM

https://www.hidrogeo.ufam.edu.br/

Este livro reúne diagnósticos sobre áreas suscetíveis a desastres socioambientais em Manaus, oferecendo base técnica para formular, priorizar e monitorar políticas públicas de intervenções para redução de riscos de desastres socioambientais. Produzido no âmbito do Projeto Multicêntrico de Pesquisa-ação e Inovação para o Plano Municipal de Redução de Riscos de Desastres, articulado entre UFAM, Prefeitura de Manaus e Ministério das Cidades, a obra está organizada em duas partes: fundamentos conceituais e institucionais, diagnósticos e vulnerabilidades; e propostas de intervenção, medidas estruturais e não estruturais. Inclui base de dados aberta online, favorecendo transparência, reprodutibilidade e atualização contínua. A obra é voltada para gestores, agentes Defesa Civil e comunidade acadêmica.

ISBN 978-85-5467-721-3