UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS – UEA
ESCOLA NORMAL SUPERIOR – ENS
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS – PROFÁGUA

ALTERNATIVAS PARA O SISTEMA DE DRENAGEM EM ZONA DE INUNDAÇÃO LOCALIZADA NO CENTRO DA CIDADE DE MANAUS, NO ESTADO DO AMAZONAS

JÉSSICA ALMEIDA CABRAL DA CUNHA

Manaus – AM
2023

JÉSSICA ALMEIDA CABRAL DA CUNHA

ALTERNATIVAS PARA O SISTEMA DE DRENAGEM EM ZONA DE INUNDAÇÃO LOCALIZADA NO CENTRO DA CIDADE DE MANAUS, NO ESTADO DO AMAZONAS

Dissertação apresentada à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, na área de concentração de Instrumentos da Política de Recursos Hídricos e linha de pesquisa em Metodologias para implementação dos Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos, para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Dra. Joecila Santos da Silva Orientadora

Área de Concentração: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos

Linha de Pesquisa: Metodologias para implementação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos.

Manaus – AM
2023

Autoriza-se a reprodução e divulgação do todo ou de partes desse trabalho desde que a fonte seja citada.

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.

C117a Cunha, Jéssica Almeida Cabral

Alternativas para o sistema de drenagem em zona de inundação localizada no centro da cidade de Manaus, no estado do Amazonas./ Jéssica Almeida Cabral da Cunha. Manaus : [s.n], 2023.
460f.: color.; il.

Dissertação – Mestrado Profissional em gestão e regulação de recursos hídricos – Universidade do Estado do Amazonas. Manaus, 2023.
Inclui bibliografia e apêndice.
Orientador: Silva, Joecila Santos da

1. Cotas de Inundação em Manaus. 2. Rio negro. 3. Recursos Hídricos. I. Silva, Joecila Santos da (Orient.). II. Universidade do Estado do Amazonas. III. Alternativas para o sistema de drenagem em zona de inundação localizada no centro da cidade de Manaus, no estado do Amazonas.

Dedico este presente trabalho a Deus, meus pais e irmãos, meu esposo Silas Cunha, minha filha preciosa Esther e meus amigos Andréia, Ana Paula e Wallison.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me permitiu esta oportunidade de realizar mais essa importante etapa em minha vida acadêmica e de relevante influencia em minha vida profissional.

Agradeço ao meu esposo Silas Pinheiro da Cunha, por sempre apoiar meus objetivos e metas, pela paciência e parceria em todos os momentos.

Agradeço a minha filha linda, Esther Cabral da Cunha, que mesmo no ventre durante este período, tornou-se um motivo maior de superação e engajamento para mim como pessoa, estudante, profissional e agora com o maior título de todos que é o de ser mãe.

Agradeço aos meus pais, Josival Cabral Sobrinho e Paula Almeida Cabral pelo incentivo, orações, e por todo apoio que sempre me deram desde a fase de escola primária até aqui.

Agradeço aos meus irmãos Job Cabral Sobrinho e Maria Júlia Almeida Cabral pela parceria de sempre, pelo amor incondicional e pela admiração imerecida.

Agradeço aos colegas de trabalho Ana Paula Maia, Andréia Lima e Wallison Santos, pelas contribuições técnicas, auxílio contínuo e apoio emocional diários.

Agradeço aos meus colegas de mestrado pelo apoio mútuo durante a fase de curso das disciplinas e pela parceria em todos os momentos, principalmente na fase de chegada da minha bebê, sem a ajuda deles eu não teria conseguido. Agradeço em especial à minha colega Andréia Vieira Lima pelos lembretes, auxílios e pela ajuda em todas as fases do programa.

Agradeço à minha orientadora Profa. Dra. Joecila Santos da Silva, pela paciência, orientações e direcionamento na elaboração deste trabalho, além da confiança a mim dada neste processo.

Agradeço a Coordenação do Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua), a Agência Nacional de Águas (ANA), a Universidade do Estado do Amazonas (UEA) e a Universidade Estadual Paulista (UNESP) bem como a todos responsáveis pelo êxito deste programa de pós-graduação e oportunidade dada aos interessados.

RESUMO

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (2020) a região norte apresenta precariedade em serviços de saneamento e em menor número o manejo de águas pluviais. Na cidade de Manaus, capital do Amazonas, registrou-se um aumento das ocorrências de alagamentos e inundações na região do centro histórico, ocasionadas pela redução do tempo de recorrência de cheias do rio Negro. Neste enfoque, sabendo-se que impermeabilização gerada pela urbanização altera as condições de escoamento natural nos terrenos, aumentando progressivamente as vazões e os danos ocasionados pelas inundações; merece destaque a adoção diferenciada de alternativas de gestão para o sistema de drenagem urbana, respeitando-se a lei nº 9433 - Lei das Águas (publicada em 8 de janeiro de 1997) que caracteriza a água como um bem público que não pode ser privatizado e sua gestão deve ser descentralizada, tendo a participação de usuários da sociedade civil e do governo. Portanto, o presente trabalho objetiva utilizar da ferramenta de mapeamento como instrumento de agilidade e precisão nas ações do poder público local, a partir da análise gráfica obtida e da observância às premissas do Manual de apresentação de propostas para sistemas de drenagem urbana sustentável e de manejo de águas pluviais, do Ministério do Desenvolvimento Regional (Secretaria Nacional de Saneamento), inserido na sistemática PPA 2020-2023 (Programa 2218) da Gestão de Riscos e Desastres do Governo Federal; produzindo por fim, alternativas para o sistema de drenagem existente e a redução dos riscos de inundações na área de estudo.

Palavras-chave: Drenagem. Inundação. Manaus.

ABSTRACT

According to the National Sanitation Information System - SNIS (2020), the Brazilian northern region has precarious sanitation services and a smaller number of stormwater management. In the city of Manaus, capital of Amazonas, there was an increase in flooding in the historic center region, caused by the reduction in the recurrence time of floods in the Negro River. In this approach, knowing that waterproofing generated by urbanization alters the natural flow conditions in the land, progressively increasing the flows and the damage caused by floods; It is worth highlighting the differentiated adoption of management alternatives for the urban drainage system, respecting Water´s Law Nº 9.433, its management must be decentralized, with the participation of users from civil society and government. Therefore, the present work aims to use the mapping tool as an instrument of agility and precision in the actions of the local government, based on the graphic analysis obtained and the observance of the premises of the Manual for the presentation of proposals for sustainable urban drainage and management systems. of rainwater, from the Ministry of Regional Development (National Sanitation Secretariat), inserted in the systematic PPA 2020-2023 (Program 2218) of Risk and Disaster Management of the Federal Government; ultimately producing alternatives to the existing drainage system and reducing the risk of flooding in the study area.

Keyword: Drainage. Inundation. Manaus.

LISTA DE SIGLAS

ADA	Área Diretamente Afetada
AEGEA	Companhia de águas e Saneamento do Amazonas
AID	Área de Influência Direta
AII	Área de Influência Indireta
AM	Amazonas
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APL	Arranjos Produtivos Locais
BR	Brasil
BSTC	Bueiro Simples Tubular de Concreto
CBPS	Colégio Brasileiro Pedro Silvestre
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CH	Capacidade Hidráulica
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
DAEE/SP	Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo
DJI	Dà-Jiāng Innovations Science and Technology
DMAPU	Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EC	Estado de Conservação
EPSG	European Petroleum Survey Group
ESRI	Environmental Systems Research Institute
ETA	Estação de Tratamento de Água
GPRH	Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa
GPS	Global Positioning System
GSD	Distância da Amostra do Terreno
H_2S	Gás Sulfídrico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF	Intensidade, Duração e Frequencia
IDH-M	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IEA	Instituto de Educação do Amazonas
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPAAM	Instituto de Proteção Ambiental do Estado do Amazonas
IPHAE	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico do Estado
IPHAN	Instituto do Património Histórico e Artístico Nacional
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
MCR	Making Cities Resilient
MDR	Ministério do Desenvolvimento Regional
MDT	Modelo Digital de Terreno
MMA	Ministério do Meio Ambiente

Nº	Número
NR	Nível na Régua
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PDF	Precipitação, Duração e Frequencia
PIM	Polo Industrial de Manaus
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PPA	Plano Plurianual
PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
PROSAMIM	Programa Social e Ambiental dos Igarapés de Manaus
PVI	Poço de Visita e Inspeção
RAM	Random Access Memory
RHN	Rede Hidrometeorológica Nacional
RIB-LOC	Tubulações plásticas de grandes diâmetros
RTK	Real Time Kinematic / Posicionamento Cinemático em Tempo-Real
SACE	Sistema de Alerta de Eventos Críticos
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SEDAC	Secretaria da Cultura
SEINFRA	Secretaria de Estado de Infraestrutura e Região Metropolitana de Manaus
SEMA	Secretaria de Estado do Meio Ambiente
SEMASDH	Secretaria Municipal de Assistência Social e Direitos Humanos
SEMINF	Secretaria Municipal de Infraestrutura
SEMMAS	Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade
SEMPAB	Secretaria Municipal de Empreendedorismo e Abastecimento
SEMSA	Secretaria Municipal de Saúde
SIDRA	Sistema IBGE de Recuperação Automática
SIGA	Sistema de Informações Governamentais do Amazonas
SINIS-AP	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SNS	Secretaria Nacional de Saneamento
SUREG	Superintendência de Manaus
SVS	Secretaria de Vigilância Sanitária
TECA	Terminal de Cargas
TPS	Terminal de Passageiros
TR	Tempo de Retorno
UNDRR	Escritório das Nações Unidas para a Redução de Riscos
UNISDR	Escritório das Nações Unidas para a Redução de Desastres
UTM	Universal Transversa de Mercator
WGS	World Geodetic System

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Ponte de acesso ao Porto de Manáos. 27
Figura 2 – Porto de Manaus em meados dos anos 20. 28
Figura 3 – Planta e cortes de Projeto de Canalização do Igarapé dos Remédios (Aterro) elaborada pela Comissão de Saneamento de Manaus em 1906. 30
Figura 4 - Av. Floriano Peixoto inundada pelas águas do Rio Negro, na grande cheia de 1953. 31
Figura 5: Parque Senador Jeferson Péres revitalizado pelo Prosamim em Manaus/AM. 31
Figura 6 - Alterações no ciclo hidrológico urbano em decorrência da urbanização 32
Figura 7 - Impacto da urbanização no hidrograma de uma bacia hidrográfica. 34
Figura 8 - Perfil esquemático do processo de enchente e inundação. 34
Figura 9 - Mortes por doenças na história. 37
Figura 10 - Tipos predominantes de sistemas de drenagem urbana por municípios brasileiros. 40
Figura 11 - Municípios com algum sistema natural de drenagem. 41
Figura 12 - Municípios elegíveis para acessar os recursos do programa Gestão de Riscos e Desastres. 42
Figura 13 - Mapa de localização do município de Manaus. 47
Figura 14 - Área de Estudo (Área de Influência Direta – AID). 49
Figura 15 - Vista aérea da orla de Manaus na AID. 50
Figura 16 - Localização da Área de Influência Direta 50
Figura 17 - Localização hidrográfica da AID. 52
Figura 18 - Bacias hidrográficas urbanizadas de Manaus. 53
Figura 19 - Localização das bacias hidrográficas que drenam a cidade de Manaus (Apêndice 09). 54
Figura 20 - AID em relação as bacias hidrográficas que drenam a cidade de Manaus (Apêndice 10). 54
Figura 21 - Área do Porto de Manaus onde há medição dos níveis d'água do rio Negro. 56
Figura 22 - Nível máximo do rio Negro em 2021 (Apêndice 15). 56
Figura 23 - Clima em Manaus. 59
Figura 24 - Chuva Mensal Média em Manaus. 60
Figura 25 - Mapa de elevações em Manaus/AM. 61

Figura 26 - Acessos Rodoviários em Manaus. 62
Figura 27 - Crescimento urbano em Manaus. 64
Figura 28 - Vista da cheia ocorrida em 2021 na rua Marquês de Santa Cruz interditada. 66
Figura 29 - Tombamentos existentes e propostos na região de estudo. 69
Figura 30 - Travessa Tabelião Lessa em período de seca (A) e cheia(B) do rio Negro. 73
Figura 31 - Prédio da Alfândega de Manaus em período de seca (A) e cheia(B) do rio Negro. 74
Figura 32 - Av. Eduardo Ribeiro, localização do Relógio Municipal e Praça XV de Novembro em período de seca (A) e cheia(B) do rio Negro. 74
Figura 33 - Pontes e marombas construídas pela Prefeitura. 74
Figura 34 – Exemplo de histograma de precipitações. 77
Figura 35: Drone modelo DJI MAVIC 2 PR utilizado para obtenção do MDT da AID. 87
Figura 36 - Postos Pluviométricos próximos a região de estudo. 91
Figura 37 -Localização da região de estudo no Sistema Hidroweb (ANA). 92
Figura 38 - Traçado da Galeria Manaus. 116
Figura 39 - Trecho em formato de abóbada da Galeria dos Ingleses. 116
Figura 40 – Deságue da Galeria dos Ingleses. 117
Figura 41 - Planta com o perímetro urbano de Manaus. 118
Figura 42 - Planta da rede de esgotos e águas pluviais de Manaus no ano 1915. 119
Figura 43 - Vista das áreas permeáveis na AID. 124
Figura 44 – Planejamento de voo e indicação dos pontos de apoio. 125
Figura 45 – Exemplos de Pontos de Controle (a, b e d) e Ponto de Verificação (b) utilizados. 125
Figura 46 - Superfície MDT da AID triangulada em Civil 3D. 126
Figura 47 - Modelo digital de terreno obtido para a AID. 126
Figura 48 - Mancha de Inundação - TR 5 anos. 128
Figura 49 - Mancha de Inundação - TR 10 anos. 128
Figura 50 - Mancha de Inundação - TR 25 anos. 129
Figura 51 - Mancha de Inundação - TR 50 anos. 129
Figura 52 - Mancha de Inundação - TR 100 anos. 130
Figura 53 - Manchas de Inundação para os tempos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos na AID. 130
Figura 54 - Vista da variação de níveis de inundação em MDT. 131

Figura 55 - Reservatório de amortecimento da Praça Charles Muller (enterrado) em São Paulo. 132
Figura 56 - Parque Senador Jeferson Péres. 133
Figura 57 - Parque Municipal Ponte dos Bilhares. 134
Figura 58 - Esquema de funcionamento de um jardim filtrante – sistema wetland. 136
Figura 59 - Foto do Porto de Manaus durante a vazante. 137
Figura 60 - Dispositivos das alternativas de drenagem urbana propostas para a AID – Apêndice 30. 144
Figura 61 - Reservatório Subterrâneo de Retenção 001. 144
Figura 62 - Reservatório Subterrâneo de Retenção 002. 145
Figura 63 - Reservatório Subterrâneo de Retenção 003. 145

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Fases da trajetória da drenagem urbana e suas principais características no Brasil. 38
Tabela 2 - Tabela de coordenadas da AID. 51
Tabela 3 - Principais corpos hídricos no Município. 53
Tabela 4 - Principais características dos igarapés nas bacias do São Raimundo e Educandos. 55
Tabela 5 - Crescimento demográfico de Manaus 63
Tabela 6 - IDHM Manaus. 67
Tabela 7 - Classe de rendimentos dos domicílios do Bairro Centro. 67
Tabela 8 - População e Estrutura Etária 69
Tabela 9 - Indicadores de Longevidade, Mortalidade e Fecundidade 70
Tabela 10 - Taxas de Alfabetização. 70
Tabela 11 - Nível educacional da população jovem. 70
Tabela 12 - Nível educacional da população adulta (25 anos ou mais) 70
Tabela 13 - Dados do esgotamento sanitário na cidade de Manaus/AM. 72
Tabela 14 - Fatores de frequência de Gumbel. 80
Tabela 15 - Fatores de Conversão de chuvas. 82
Tabela 16 - Valores da média reduzida Yn e desvio padrão reduzido Sn. 84
Tabela 17 - Períodos de retorno x tipologias de sistemas de drenagem. 86
Tabela 18: Intervenções para ampliação/melhoria dos sistemas de drenagem urbana (Ação 10SG). 89
Tabela 19 - Postos pluviométricos próximos a região de estudo. 91
Tabela 20 - Postos Pluviométricos próximos a região de estudo (inferiores a 10km de distância). 92
Tabela 21 - Características da estação pluviométrica CPRM-SUREG 359005. 93
Tabela 22 - Série histórica de pluviometria adotada. 93
Tabela 23 - Precipitações máximas anuais para o posto selecionado. 94
Tabela 24 - Precipitações máximas para períodos de retorno na AID. 99
Tabela 25 - Intensidade calculada para chuva de 1 dia. 101
Tabela 26 - Intensidade em função do Tempo de Recorrência. 101
Tabela 27 - Precipitação em função do Tempo de Recorrência. 103
Tabela 28 - Cotas máximas e mínimas do rio Negro (Estação linimétrica 14990000). 104

Tabela 29 - Distribuição de Gumbel – Cotas Máximas Anuais. 107
Tabela 30 - Níveis máximos e tempos de retorno correspondentes. 108
Tabela 31 -Distribuição de Gumbel – Cotas Mínimas Anuais. 109
Tabela 32 - Níveis mínimos e tempos de retorno correspondentes. 110
Tabela 33 - Riscos de inundações para a vida útil da obra. 110
Tabela 34 - Correspondência entre os níveis calculados e as cotas. 111
Tabela 35 - Níveis e Cotas adotadas para o rio Negro na AID. 112
Tabela 36 - Dimensões médias e quantitativos dos principais dispositivos de drenagem identificados na AID. 113
Tabela 37 – Exemplos de dispositivos de drenagem superficial identificados na AID. 114
Tabela 38 - Exemplos de estado de conservação dos dispositivos de drenagem existentes na AID. 120
Tabela 39 - Cadastro de dispositivos existentes x soluções propostas. 122
Tabela 40 - Soluções propostas para os dispositivos de drenagem existentes. 122
Tabela 41 - Níveis máximos e tempos de retorno correspondentes. 127
Tabela 42 - Correlação de níveis máximos na régua x MDT 127
Tabela 43 - Tipos de Restaurações de margens. 136
Tabela 44 - Bacias Monitoradas pelo SACE. 142
Tabela 45 - Resumo das alternativas de drenagem urbana propostas para a AID 142
Tabela 46 - Critérios da Matriz de Decisão. 148
Tabela 47 - Matriz de Decisão 148
Tabela 48 - Estimativas orçamentárias para os mix de alternativas propostas. 149
Tabela 49 - Matriz de Decisão 149
Tabela 50 - Matriz de Decisão 149

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Cotagrama do rio Negro em Manaus. 57
Gráfico 2 - Meses de ocorrência dos eventos de máxima e mínima na estação de Porto de Manaus no período de 1903 a 2021. 58
Gráfico 3 - Dados de cotas máximas e mínimas anuais observadas em Manaus no período 1903 a 2021. 58
Gráfico 4 - Comparativo Entre Crescimento Populacional Percentual do Estado e Município. 64
Gráfico 5 - Faturamento do Polo Industrial de Manaus (bilhões). 65
Gráfico 6 - Domicílios particulares permanentes, por classe de rendimento nominal mensal domiciliar per capita (salário mínimo). 68
Gráfico 7 - Riscos x Tempos de Retorno. 85
Gráfico 8 - Precipitações totais anuais – Estação 359005. 94
Gráfico 9 - Precipitações Máximas Anuais - Posto selecionado. 95
Gráfico 10 - Precipitações Mensais Mínimas - Posto selecionado. 96
Gráfico 11 - Precipitações Mensais Médias - Posto selecionado 96
Gráfico 12 - Precipitações Mensais Máximas - Posto selecionado 97
Gráfico 13 - Nº de dias de chuva mínimos - Posto selecionado 97
Gráfico 14 - Nº de dias de chuva médios - Posto selecionado. 98
Gráfico 15 - Nº de dias de chuva máximos - Posto selecionado. 99
Gráfico 16 - Precipitações Máximas x Tempo de Retorno (CPRM SUREG). 100
Gráfico 17 - Intensidade – Duração – Frequência 102
Gráfico 18 - Precipitação – Duração – Frequência. 103
Gráfico 19 - Cotas e Precipitações Mensais Máximas na AID (2001 a 2021). 105
Gráfico 20 - Cotas e Precipitações Mensais Mínimas na AID (2001 a 2021). 105
Gráfico 21 - Cotas e Precipitações Mensais Médias na AID (2001 a 2021). 106
Gráfico 22 - Ajuste da distribuição de cotas Máximas Anuais. 108
Gráfico 23 - Ajuste da distribuição de cotas mínimas anuais. 110
Gráfico 24 - Soluções propostas para os dispositivos de drenagem identificados na AID. ... 123

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 20

2. JUSTIFICATIVA 22

3. OBJETIVOS 24

3.1. OBJETIVO GERAL 24

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 24

4. REFERENCIAL TEÓRICO 25

4.1. O EFEITO DA URBANIZAÇÃO NO MEIO AMBIENTE 25

4.1.1. O avanço da urbanização no Brasil 26

4.2. CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA DA URBANIZAÇÃO NA ÁREA DE ESTUDO 27

4.2.1. Centro histórico de Manaus 27

4.2.2. Avanço da urbanização e os igarapés de Manaus 28

4.3. A URBANIZAÇÃO E OS DESASTRES NATURAIS 31

4.3.1. Enchentes, Inundações, Alagamentos e Enxurradas 33

4.4. A IMPORTÂNCIA DO SANEAMENTO BÁSICO PARA A SAÚDE PÚBLICA 36

4.5. TRAJETÓRIA DA DRENAGEM URBANA NO BRASIL 37

4.5.1. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS 39

4.5.2. Desafios na gestão de drenagem pluvial brasileira 41

4.6. A RELAÇÃO ENTRE O SANEAMENTO BÁSICO E OS OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS) 43

4.6.1. Cidades Resilientes a Desastres 43

4.7. AS LEGISLAÇÕES BRASILEIRAS E SANEAMENTO BÁSICO 43

4.7.1. Lei das Águas 44

4.7.2. Marco legal do saneamento básico no Brasil 45

5. MATERIAL E MÉTODOS 46

5.1. ÁREA DE ESTUDO 47

a) Localização 47

b) Hidrografia 51

c) Clima 58
d) Topografia 60
e) Acessos 62
f) População 62
g) Características Urbanas 64
h) Perfil Socioeconômico 66
i) Aspectos socioambientais 68
j) Condições Sanitárias na AID 71
5.2 DADOS 75
5.2.1. Dados Pluviométricos 75
5.2.1 Dados Linimétricos 75
5.2.2. Dispositivos de drenagem existentes na AID. 75
5.2.3. Modelo Digital de Terreno MDT da AID 75
5.3. MÉTODOS 76
5.3.1. Análise Pluviométrica 76
5.3.2. Análise das Cotas do rio Negro 83
5.3.3. Diagnóstico da rede de drenagem existente na AID 86
5.3.4 Elaboração de Mapas de manchas de inundações na AID 87
a) Levantamento de Modelo Digital de Terreno (MDT) 87
b) Uso dos softwares Autodesk Civil 3D v.2021 e ArcGIS 10.5 88
5.3.5 Proposição de Alternativas para o Sistema de Drenagem na AID 88
6. RESULTADOS 90
6.1. Análise Pluviométrica 90
a) Posto pluviométrico adotado 91
b) Precipitações Totais Anuais 94
c) Precipitações Máximas Anuais 94
d) Precipitações Mensais Mínimas 96
e) Precipitações Mensais Médias 96
f) Precipitações Mensais Máximas 97

g) Número de dias de chuva mínimos 97
h) Número de dias de chuva médios 98
i) Número de dias de chuva máximos 98
j) Valores máximos prováveis de precipitação 99
k) Precipitações para um dia de chuva 100
l) Curvas de Intensidade - Duração – Frequência (IDF) e Precipitação - Duração – Frequência (PDF). 101
6.2. Análise das cotas do rio Negro 103
a) Comparativo entre cotas e precipitações na AID 104
b) Análise de Níveis Máximos 106
c) Análise de Níveis Mínimos 108
d) Análise de Risco de Cheia 110
6.3. Diagnóstico da rede de drenagem existente na AID 112
a) Drenagem superficial existente 112
b) Drenagem profunda existente 115
c) Estado de conservação dos dispositivos existentes 120
6.4. Mapas de manchas de inundações na AID 124
6.5. Proposição de alternativas para o sistema de drenagem na AID 131
a) Reservatório de amortecimento de cheias 131
b) Parque linear ribeirinho 132
c) Parque isolado associado a reservatório de amortecimento de cheias ou área para infiltração de águas pluviais 134
d) Recuperação de áreas úmidas (várzeas) 134
e) Restauração de margens 136
f) Recomposição de vegetação ciliar 137
g) Renaturalização de rios ou córregos 137
h) Bacias de contenção de sedimentos 138
i) Dissipadores de energia 138
j) Adequação de canais para retardamento do escoamento 138

k) Desassoreamento de rios e canais 139

l) Canalização de córregos quando associada a obras e ações não estruturais que priorizem a retenção, o retardamento e a infiltração das águas pluviais 139

m) Sistemas para aproveitamento das águas pluviais 139

n) Controle de enchentes e erosões provocadas pelos efeitos da dinâmica fluvial incluindo a construção de espigões, muro de proteção, diques de contenção e outros tipos de obras 139

o) Estações elevatórias, diques e comportas. 140

p) Ampliação, reabilitação e/ou reconstrução de unidades de drenagem subdimensionadas 140

q) Obras de microdrenagem complementares 141

r) Serviços Preliminares 141

s) Outras obras complementares (pavimentação / sistema de monitoramento/ urbanização / etc). . 141

t) ações para a viabilização das obras 142

u) Resumo de Alternativas Propostas 142

6.5.1. Alternativas Propostas para o sistema de drenagem na AID 145

a) Mix de Alternativas 01 145

b) Mix de Alternativas 02 146

c) Mix de Alternativas 03 147

d) Matriz de Decisão 148

e) Alternativa proposta 150

7. CONCLUSÃO 151

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 155

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a UNISDR (2012), as mudanças climáticas e os eventos climáticos extremos tendem a aumentar a exposição das cidades às ameaças e riscos. Além disto, é fato de que práticas irregulares de desenvolvimento também podem gerar uma mudança ambiental complexa que contribui para a ampliação do risco, se não forem consideradas e postas em prática as ações de resiliência. Durante os desastres, os governos locais são os primeiros da linha de resposta, algumas vezes com uma grande responsabilidade, mas uma capacidade insuficiente para lidar com as circunstâncias. Eles estão igualmente na linha de frente quando se trata de antecipar, gerenciar e reduzir os riscos de desastres, criando ou atuando nos sistemas de alerta e alarme e estabelecendo estruturas específicas de gerenciamento de crises e desastres.

É importante enfatizar que as intervenções humanas realizadas ao longo da bacia hidrográfica, em sua maioria, caracterizam agentes de danos ou interferem diretamente na magnitude das enchentes. As principais intervenções estão ligadas a urbanização e aos obstáculos que se criam ao escoamento da água. A urbanização impermeabiliza os solos provocando aumento dos volumes de águas escoados superficialmente, das velocidades dos escoamentos e a redução do tempo de resposta da bacia. Uma bacia urbanizada pode apresentar um tempo de resposta de 5 a 20 vezes menor do que uma bacia natural. Esta redução do tempo de resposta torna a bacia mais sensível às precipitações mais curtas, as quais são mais intensas. A expansão dos espaços urbanos, com a implantação de zonas industriais e de novos loteamentos tende a agravar a situação (MMA, 2007).

Segundo a CPRM (2015), as cheias fluviais na Amazônia, com ressalvas para o fato de que possam apresentar maior ou menor amplitude, são fenômenos naturais que fazem parte da dinâmica natural dos rios da Amazônia. Destaca-se que o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) realiza o Alerta de Cheias em Manaus desde 1989, com o monitoramento do processo anual de níveis d'água dos rios do sistema Solimões, Negro e Amazonas.

No caso específico das cheias que ocorrem na orla da cidade de Manaus, capital do estado do Amazonas e seus entornos, são devidas, em sua maior parte às contribuições do rio Solimões/Amazonas, influenciadas pelo seu efeito de barragem hidráulica e dos seus afluentes da margem direita e, em menor grau, aos tributários da margem esquerda, inclusive o próprio rio Negro.

São cheias que apresentam um longo tempo de percurso, devido ao gigantesco tamanho da bacia hidrográfica e à pequena declividade observada nos leitos dos seus principais corpos d'águas. Isto facilita a sua previsibilidade com vários dias de antecedência (CPRM, 2020).

De acordo com a SEMA (2021), eventos de cheia sazonal do rio Negro e os alagamentos/inundações da bacia atingem a população carente que reside nas margens dos cursos d´água, em Manaus. Desse modo, vários bairros são afetados pelo risco geológico oriundo de processos hidrológicos, com seus moradores sofrendo anualmente as consequências das inundações e alagamentos, onde se destacam os bairros do Educandos, São Jorge, Centro, Mauazinho e Raiz.

A enchente ou cheia gradual do rio Negro atinge de modo especial as moradias situadas abaixo da cota de emergência para inundação, que é de 29,00m, com alta frequência de ocorrência (3 eventos significativos nos últimos 5 anos). Durante as cheias, os setores mais baixos ficam submersos por até dois meses consecutivos e, durante esse período, sua população convive com água contaminada e lixo em suas residências, o que acarreta perda material bem como exposição às doenças de veiculação hídrica (SEMA, 2021).

Adicionalmente, observa-se que chuvas intensas em Manaus impactam negativamente diversas áreas já atingidas pela cheia do rio Negro, pela dificuldade de escoamento dos sistemas de drenagem pluvial, como na área próximo ao Edifício Garagem e na esquina das ruas José Clemente com Lobo D'Almada, ambos locais situados no Centro da cidade, áreas de delimitação do presente trabalho, onde verifica-se a incidência de danos e a ausência de intervenções corretivas na rede de drenagem existente.

2. JUSTIFICATIVA

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (2020) a região norte apresenta precariedade em serviços de saneamento e apresenta em relação ao instrumento regulador dos serviços de saneamento básico aproximadamente 58,90% para abastecimento de águas, 13,10% para esgotamento sanitário e 14,50% para manejo de águas pluviais. Observando-se um aumento das ocorrências de alagamentos e inundações, devido às coletas de dados realizadas na Defesa Civil, de Manaus.

Ademais, nos últimos dez anos registraram-se seis grandes cheias do rio Negro que ultrapassaram a cota (arbitrária) de inundação severa estabelecida para a cidade de Manaus, que é de vinte e nove metros, o que indica que o fenômeno se tornou mais frequente, com recorrências de menor espaço de tempo. Por outro lado, o sistema de drenagem existente na área de maior incidência de inundações do centro de Manaus não sofreu melhorias ou qualquer tipo de intervenção que minimize ou reduza o avanço das águas do rio Negro na região urbanizada da cidade. Ressalta-se ainda que a rede profunda existente na área afetada é datada do século XIX e não atende à demanda crescente de contribuição dos últimos anos.

Entretanto, a drenagem urbana não deve promover o desequilíbrio do ciclo hidrológico e o agravamento de condições sanitárias e ambientais [...] é intolerável a qualquer pessoa que a circulação das águas na cidade seja veículo de contaminação ou cause risco de vida por afogamento ou desastres, como a destruição de casas. Logo, a drenagem urbana tem uma função primordial: minimizar a presença de excessos de circulação de água, especialmente pluviais, em locais indevidos no meio urbano (SILVEIRA, 2002).

Nesse enfoque, ressalta-se o Programa de Gestão de Riscos e Desastres do governo federal brasileiro proposto pelo Ministério do Desenvolvimento Regional (Sistemática PPA / 2020 – 2023) que objetiva apoiar a redução do risco de desastres naturais em municípios críticos a partir do planejamento e da execução de obras, em articulação com as políticas de desenvolvimento urbano, de uso e ocupação do solo e de gestão das respectivas bacias hidrográficas, com foco na gestão sustentável da drenagem urbana, por meio de ações estruturais e não-estruturais dirigidas à recuperação de áreas úmidas, à prevenção, ao controle e à minimização dos impactos provocados por alagamentos, enchentes e inundações urbanas e ribeirinhas.

Partindo-se da hipótese que mapas de inundação configuram instrumentos importantes na prevenção, controle e gestão das inundações em função das áreas de risco estabelecidas,

buscou-se reunir dados/informações com o propósito de responder ao seguinte problema, inserido na linha de pesquisa ferramentas aplicadas aos instrumentos de gestão de recursos hídricos, da área de concentração metodologias para implementação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos, do PPG em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos: Como a utilização de mapas de inundação, focalizando-se na área central da cidade de Manaus, podem aprimorar o sistema de drenagem e a redução dos riscos de inundações e danos à referida área?

Com base nesse questionamento, esta pesquisa exploratória e descritiva, busca subsídios dentro do contexto da drenagem urbana de águas pluviais, embasando-se no Manual para Apresentação de Propostas para Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável e de Manejo de Águas Pluviais do Ministério do Desenvolvimento Regional – Sistemática PPA 2020-2023 – Programa de Riscos e Desastres do Governo Federal, para estabelecer critérios, métodos e técnicas alternativas ao sistema de drenagem existente visando a redução dos riscos de inundações e danos no centro da cidade de Manaus.

O desenvolvimento deste projeto considera que a metodologia e os produtos desenvolvidos representam importante ferramenta técnica para que, de forma preventiva às próximas cheias, o poder público possa utilizar os mapas de inundações para os períodos de retornos advindos e dispor de alternativas propostas para a rede de drenagem existente na área de estudo, visando a implementação de obras de infraestruturas corretamente analisadas, auxiliando dessa forma na gestão pública dos recursos hídricos, da cidade de Manaus.

Devido à magnitude e repercussão dos eventos de enchentes e vazante observados nos últimos anos na Região Amazônica, a viabilização desta proposta no contexto da drenagem urbana de águas pluviais oportuniza a possibilidade de explorar as alternativas propostas em áreas de risco de inundação em outras cidades ribeirinhas da Região, a fim de extinguir os danos recorrentes causados em períodos de elevação das cotas dos rios Amazônicos.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GERAL

Analisar as cheias do rio Negro ocorridas nos últimos vinte anos e a interferência destas em áreas de risco de inundação recorrente, localizada no centro da cidade de Manaus, fornecendo soluções alternativas para o aprimoramento do sistema de drenagem existente, como forma de garantir maior agilidade e precisão nas ações do poder público local, embasando-se no Manual para Apresentação de Propostas para Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável e de Manejo de Águas Pluviais, do Ministério do Desenvolvimento Regional – Sistemática PPA 2020-2023 – Programa de Riscos e Desastres do Governo Federal.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar dados pluviométricos e linimétricos do rio Negro, nas proximidades do centro de Manaus;
- Realizar o levantamento cadastral de dispositivos e da rede de drenagem existente na denominada Área de Influência Direta (AID) de inundações ocasionadas pelo rio Negro, localizada no centro da cidade de Manaus;
- Elaborar mapas de manchas de inundações previstas para os tempos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos, na AID; e
- Propor soluções alternativas para o sistema de drenagem existente na AID, conforme premissas do Manual de apresentação de propostas para sistemas de drenagem urbana sustentável e de manejo de águas pluviais, do Ministério do Desenvolvimento Regional (Secretaria Nacional de Saneamento), inserido na sistemática PPA 2020-2023 (Programa 2218) da Gestão de Riscos e Desastres do Governo Federal.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. O EFEITO DA URBANIZAÇÃO NO MEIO AMBIENTE

Define-se como urbanização o processo de desenvolvimento econômico e social resultante da transformação de uma economia rural para uma economia cuja dinâmica é concentrada nas áreas urbanas (TUCCI, 2007). Tendo sua origem gerada pela regularidade da produção do excedente agrícola, que deu um novo direcionamento para outros tipos de atividades, como as comerciais, militares, políticas, artesanais, comerciais e intelectuais, tal fenômeno favoreceu a formação das cidades como sedes administrativas, gerando um núcleo populacional dependente dos alimentos que eram produzidos nas áreas rurais (SANDRONI, 1999).

O meio ambiente é entendido como um complexo com diversos componentes interagindo no seu interior, sendo um sistema físico e biológico global, no qual vivem o ser humano e muitos outros organismos (MEDRONHO, 1995). Por ocasionar a concentração de pessoas e atividades produtivas sobre um espaço específico, gerando assim impactos degradadores do meio ambiente com efeitos sinérgicos e persistentes, a urbanização e o meio ambiente possuem uma relação direta. Apesar de outras atividades, como a pecuária, a mineração, a agricultura e a geração de energia, provocarem grandes impactos negativos sobre o meio ambiente, a urbanização merece uma análise especial dada a geração, de forma concentrada, de seus impactos e a disseminação destes além dos limites urbanos.

Uma série de desequilíbrios socioambientais, que tem comprometido e colocado em risco todo o ciclo natural do planeta, origina-se do desenvolvimento urbano. Nesta perspectiva, Tucci (2008) alerta sobre o ciclo de contaminação, como o esgoto doméstico, industrial e pluvial, que são lançados pela população urbana, sendo estes os resultados de uma série de atividades humanas, tais como:

- contaminação das águas subterrâneas por dejetos industriais e domésticos, através do uso de fossas sépticas, vazamento do sistema de esgoto sanitários, pluvial, entre outros;
- ocupação desordenada do solo urbano, com ausência de controle sobre o impacto hídrico local;
- despejo dos esgotos sanitários em corpos hídricos, com ausência de tratamento, gerando a contaminação do sistema hídrico; e

- depósitos de resíduos sólidos urbanos, como fonte permanente de contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

4.1.1. O avanço da urbanização no Brasil

Segundo Tucci (2008), o mundo atualmente está se tornando cada vez mais urbano, sendo essa urbanização um dos processos mais marcantes da sociedade contemporânea e um país em desenvolvimento, como o Brasil, não fica fora desse processo. Para Parfitt (2016), como resultado de um tipo de desenvolvimento que leva ao uso predatório dos recursos naturais, o crescimento urbano, nas últimas décadas, tem-se apresentado com um padrão altamente degradante no país, gerando inúmeros impactos ambientais.

No Brasil, no que tange o processo de urbanização, o mesmo ocorreu de maneira rápida, embora considerado tardio em termos mundiais, já que se iniciou somente a partir da Segunda Guerra Mundial. Porém, sabe-se que em poucas décadas o país se transformou de predominantemente agrário para um país urbanizado, onde a área urbana passou a ser o cenário das grandes transformações socioeconômicas. No entanto, esse processo não ocorreu de maneira homogênea, conforme é ressaltado por Diniz (2006), esse processo era bem mais estruturado e concentrado nas regiões Sul e Sudeste, áreas onde havia o maior percentual populacional, enquanto nas regiões Norte e Centro-Oeste, o processo foi mais retardatário, de maneira que estas regiões apresentavam, no início, efeitos urbanos vazios e rarefeitos, sendo que o Nordeste apresentava ainda mais fraca essa estrutura urbana.

O desenvolvimento urbano no Brasil, de acordo com Menezes (1996), foi realizado pelo próprio Estado, ao contrário do que ocorreu na maior parte dos países desenvolvidos, onde a infraestrutura para o desenvolvimento urbano foi financiada previamente pela iniciativa privada.

Segundo Souza et al. (2003), a intensificação do processo de urbanização (que ocorreu no país ao longo do século XX), trouxe uma série de consequências negativas ao meio ambiente, e proporcionou uma forte pressão sobre o território, por meio da grande concentração de pessoas e atividades econômicas nos centros urbanos. Tucci (2007), enfatiza ainda, que essa dinâmica provocou um conjunto de efeitos interligados, de modo que se não houver controle dos mesmos, cuja situação das cidades estará continuamente destinada ao caos.

4.2. CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA DA URBANIZAÇÃO NA ÁREA DE ESTUDO

4.2.1. Centro histórico de Manaus

Segundo Santos (2000), a história do centro de Manaus remete ao ano de 1791, onde às margens do rio Negro houve a mudança da sede da Capitania de São José da Barra do Rio Negro, da cidade de Barcelos, para a ilha de São Vicente, onde hoje está localizado o 9º Comando Naval. Conforme a urbanização as margens foi surgindo, casas comerciais e residências foram sendo implantadas na região, gerando o crescimento da zona urbana e o surgimento de bairros consequentemente foram surgindo.

Em 1832, sob a denominação de Nossa Senhora da Conceição da Barra do Rio Negro, o lugarejo foi elevado à categoria de vila e, em 1848, a Vila da Barra foi novamente elevada, então à categoria de cidade, com o nome de Cidade da Barra do Rio Negro. Até 1885, Manaus ainda apresentava o aspecto de uma vila, um pequeno povoado espraiado, seguindo a condição geográfica do local, cortado por igarapés, entretanto, desde 1850, com a elevação da Comarca do Alto Amazonas à Província do Amazonas, foi autorizada a navegação a vapor ao longo do rio Amazonas e seus afluentes (IPHAN, 2014). Esse fato criou as condições de transporte para a fase econômica subsequente.

Ainda de acordo com o IPHAN (2014), para coordenar o crescimento da cidade o governador Eduardo Ribeiro elaborou um plano, no qual a cidade ganhou serviços como o de transporte coletivo de bondes elétricos, eletricidade, telefonia, água encanada e um porto flutuante (Figuras 1 e 2). Esse porto em 1899 recebeu obras de melhoramento visando o escoamento da produção da borracha, observando-se o fenômeno de cheia e vazante do Rio Negro.

Figura 1- Ponte de acesso ao Porto de Manáos.



Fonte: Anuário de Manáos de 1913-1914 / Acervo do Museu Amazônico, 2023.

Figura 2 – Porto de Manaus em meados dos anos 20.



Fonte: Museu Amazônico - Manaus de antigamente, 2023.

O Centro de Manaus faz limites com os bairros Cachoeirinha, Praça 14 de Janeiro, Nossa Senhora das Graças, São Geraldo, Presidente Vargas e Aparecida, tornando-se separado dos bairros de São Raimundo e Glória pelo igarapé do São Raimundo e do Educandos, pelo igarapé homônimo. Sendo a região mais antiga da cidade, o centro está localizado na zona sul, e dentre os 63 bairros da cidade, caracteriza-se como o 20º mais populoso, com cerca de 39.228 habitantes, de acordo com a Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Ciência, Tecnologia e Inovação do Amazonas (SEDECTI, 2021). Localizado em uma zona em sua maioria comercial e histórica, o centro abriga um grande número de prédios históricos, também sendo o bairro com maior número de museus e praças da cidade, tal característica tornou esse bairro histórico através da Lei Orgânica do Município de Manaus de 1990, sendo tombado oficialmente em 2012 pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN).

A preservação deste núcleo, que configura o coração urbano da cidade, garante a manutenção de seu patrimônio singular e integro, e inclui Manaus no rol das cidades históricas do Brasil, com inscrição no Livro de Tombo Histórico e no Livro de Tombo Arqueológico, Etnográfico e Paisagístico.

4.2.2. Avanço da urbanização e os igarapés de Manaus

Manaus está encravada na maior floresta do mundo, entre os maiores rios do mundo, rasgada por uma infinidade de igarapés, a localização e a configuração urbana da cidade possuem características únicas. Entretanto, de acordo com Grobe (2014), até a segunda metade do século XIX, os igarapés de Manaus ainda se apresentavam sem grandes interferências de seus habitantes, mantendo-se presentes na paisagem, nas formas do espaço e no viver da cidade.

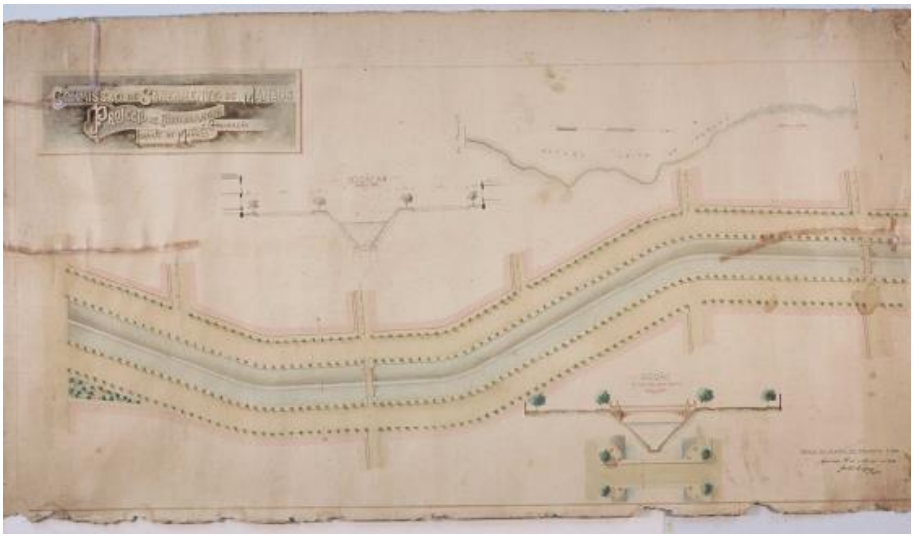
Por volta de 1870, os igarapés passam a sofrer, com grande intensidade, os impactos da implantação dos projetos urbanísticos de modernização, importados de terras distantes. A partir das intervenções históricas, verifica-se que os igarapés foram identificados como 'barreiras' para o crescimento e o desenvolvimento urbano desejado, uma vez que não foram valorizados e nem preservados pelos construtores da cidade.

De acordo com Grobe (2012), as práticas de intervenção e produção do espaço na cidade de Manaus se definiram por desconsiderarem e descaracterizarem seus igarapés, suas referências culturais e sociais, impondo às espacialidades pretéritas e às relações sócio espaciais pré-existentes, um "imaginário da recriação contínua" através da imposição de modos de viver, buscando um espaço e uma vida urbana homogênea, atrelados à modernidade da época, moldada em outras formas de viver e ser na cidade. Uma homogeneidade que se revela configurada em sua aparência, pois a cidade é fragmentada e se torna viva nas suas diferenças, revelando os excluídos que emergem diante da precariedade da vida e da paisagem, escapando do modelo de urbanismo racional imposto a cada tempo. Os problemas que uma cidade apresenta, não devem ser resolvidos partindo de preceitos técnicos e estéticos, apenas. Na fala de Milton Hatoum (1999)

> "A cidade ou o espaço urbano são construídos ou destruídos segundo uma política de intervenção que pode favorecer certos segmentos sociais em detrimento de outros. O urbanismo é, ao mesmo tempo, uma técnica de organização do espaço e uma estratégia política. A mais singela ou ingênua intervenção urbana encerra uma intenção política e social, pois influi na vida do cidadão, no seu cotidiano, lazer e trabalho. Influi, enfim, nas relações sociais e na sociabilidade de cada pessoa".

A Figura 3 apresenta o projeto de canalização do igarapé dos Remédios (Aterro), vem revelar que o próprio poder público, através da Comissão de Saneamento, pensou e idealizou uma outra imagem da cidade, revelando e evidenciando os igarapés, preservando-os. Porém as ações e intervenções deste mesmo poder público privilegiaram a eliminação deste igarapé, como também não se praticou nenhuma ação perene no que diz respeito a valorização e integração dos igarapés que limitavam e se entendiam além do perímetro urbano cristalizado pelas políticas de embelezamento da época.

Figura 3 – Planta e cortes de Projeto de Canalização do Igarapé dos Remédios (Aterro) elaborada pela Comissão de Saneamento de Manaus em 1906.



Fonte: CCPA (Centro Cultural dos Povos da Amazônia), 2020.

Na fala do Governador Antonio Clemente Ribeiro Bittencourt, em 1909, as escavações empenhadas na cidade, como justificativa de corrigir seus acidentes naturais, tirou-lhe os encantos, e

> "a infeliz ideia de aterrar os igarapés, que serpeantes cortavam toda a cidade, se convenientemente drenados, fariam de Manáos, não só a linda princeza do Rio Negro, mas ainda uma Veneza mais poética, mais gentil e menos sombria, enfeitada pela luxuriosa vegetação amazonense".

As obras para o aterramento do igarapé dos Remédios (Aterro) e da construção da avenida Floriano Peixoto, continuando como "13 de maio", se estende por muitos anos. As críticas a respeito da falta de planejamento para as obras de aterros e desaterros em favor dos nivelamentos da cidade, assim como das escavações para o aterramento do referido igarapé, surgem em diversos momentos, por conta dos focos da formação de pântanos e represamentos de águas. Sobre o aterro do igarapé dos Remédios. Segundo da Matta (1916), para termos uma ideia do que foi o processo para a construção da avenida 13 de Maio, "Somente uma photographia desses tempos daria impressão approximada do colossal volume de terra ahi consumido".

Modificações profundas foram sentidas pela paisagem da cidade, como o aterro do Igarapé do Espírito Santo para construção da Avenida do Progresso (hoje Avenida Eduardo Ribeiro), o aterro do Igarapé dos Remédios (ou igarapé do Aterro), para construção da Avenida Floriano Peixoto e 13 de Maio (hoje, Floriano Peixoto e Avenida Getúlio Vargas), entre outras ações que modificaram totalmente a topografia e a vida dos igarapés, evidenciada com as inundações históricas ocorridas ao longo dos anos na região (Figura 4).

Figura 4 - Av. Floriano Peixoto inundada pelas águas do Rio Negro, na grande cheia de 1953.



Fonte: Instituto Durango Duarte, 2021.

É importante destacar que outros igarapés foram aterrados, assim como seus leitos modificados e todo o relevo alterado. As intervenções aconteceram desde o início da formação do núcleo urbano, onde a primeira área da cidade a passar por modificações no seu ambiente natural. Nos dias atuais, um exemplo destas práticas, impostas pelos administradores no presente, é a proposta do Programa Social e Ambiental dos Igarapés de Manaus, o PROSAMIM, que nasce em pleno século XXI, com justificativas e consequências muito similares às apresentadas pelas intervenções que o Poder Público no século XIX, determinando modificações na paisagem da cidade e na vida dos igarapés (Figura 5).

Figura 5: Parque Senador Jeferson Péres revitalizado pelo Prosamim em Manaus/AM.



Fonte: Google Earth, 2021.

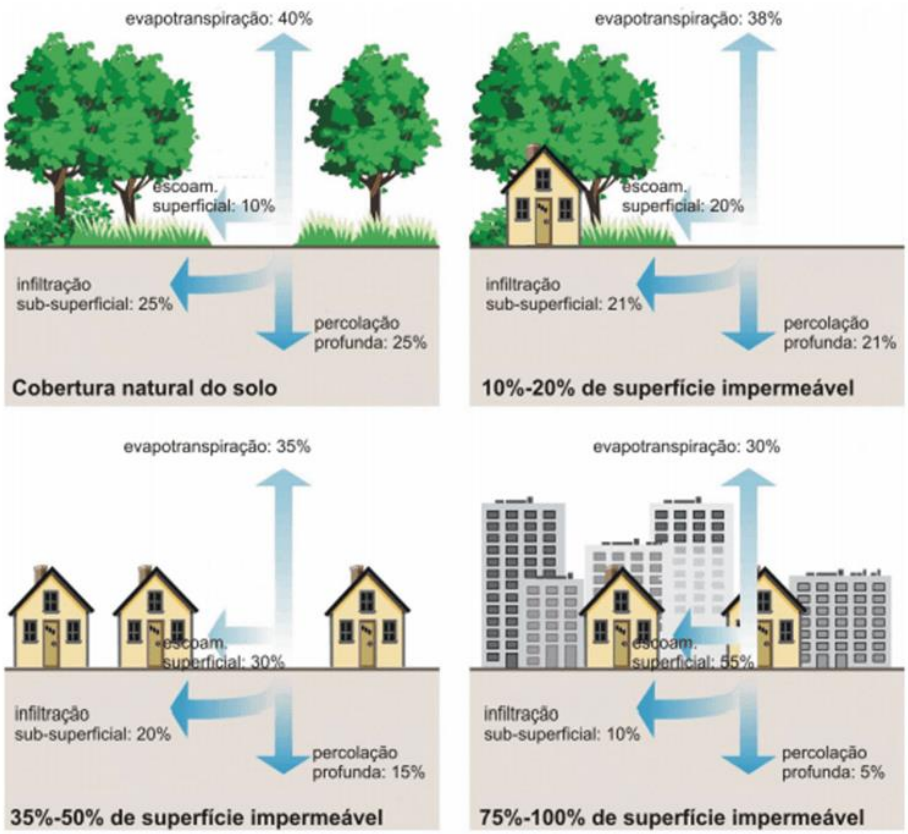
4.3. A URBANIZAÇÃO E OS DESASTRES NATURAIS

À medida que a urbanização acelera com a expansão e o adensamento das cidades (Figura 1), os níveis abusivos de degradação ambiental oriundos da acelerada apropriação, norteada pela ausência de planejamento, a ocorrência de desastres ambientais em áreas urbanas, provocados por fenômenos naturais, tais como terremotos, chuvas intensas, invernos rigorosos

e secas prolongadas, tem se intensificado, gerando consequências cada vez mais extensas e graves (OLIVEIRA, 1998).

Todo esse crescimento e processo de urbanização com ausência de planejamento de infraestrutura, vem acompanhado de inúmeros problemas, principalmente no que se refere as instalações de sistemas de esgotos sanitários e pluviais. No sistema de drenagem, as principais consequências dessa urbanização são oriundas do aumento do escoamento superficial (Figura 6), devido a redução da infiltração que é causada pela ocupação e impermeabilização do solo (SILVA, 2007).

Figura 6 - Alterações no ciclo hidrológico urbano em decorrência da urbanização



Fonte: Adaptado de Prince George's County, 1999.

No ponto de vista de Tucci (1995), a impermeabilização das superfícies através de ruas, calçadas, pátios, telhados e outros, é resultado dessa ocupação do solo e mudança de uso deste para características urbanas, onde a parcela da água que infiltrava no solo, com a impermeabilização, passa a escoar na superfície até chegar aos condutos, ou seja, há um uma alteração no ciclo hidrológico urbano com o aumento do escoamento superficial, exigindo assim uma maior capacidade de escoamento das seções e quando não é atendida ocorrem os alagamentos.

4.3.1. Enchentes, Inundações, Alagamentos e Enxurradas

Dependendo de sua magnitude, desastres naturais relacionados a inundações e enchentes, provocam grandes danos materiais, causando, até mesmo, irreparáveis perdas de vidas. Estando cada vez mais frequentes no Brasil, as inundações em áreas urbanas e ribeirinhas, são ocasionadas devido as crescentes impermeabilizações do solo, decorrentes da urbanização acelerada e da negligente ocupação urbana de áreas principalmente as ribeirinhas, que antes constituíam as várzeas e planícies de inundação. (ANA, 2013).

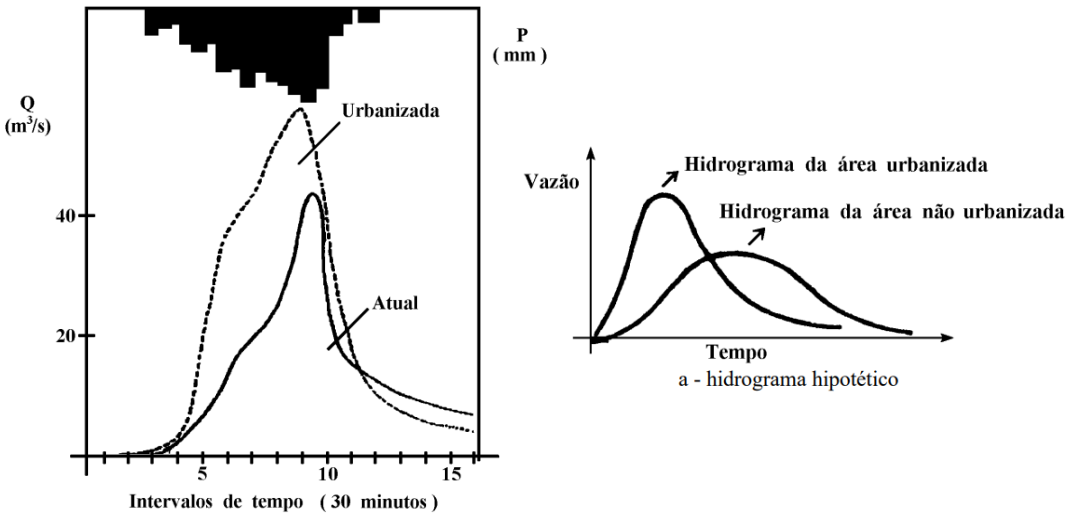
- Enchentes:

Nesse contexto, elenca-se o conceito de enchentes ou cheias que são o aumento temporário do nível d'água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão atingindo a cota máxima do canal, porém, sem transbordamento.

De acordo com Tucci (2000), as enchentes em áreas urbanas são consequências de dois processos que ocorrem isoladamente ou de forma integrada, que são consideradas enchentes naturais, que atingem a população que ocupa essas áreas ribeirinhas, por falta de planejamento do uso do solo, ocorrendo principalmente pelo processo natural no qual o rio ocupa o seu leito maior e as enchentes provocadas pela urbanização, onde com o desenvolvimento urbano ocorre a impermeabilização do solo, onde a parcela de água que infiltrava passa a escoar pelos condutos aumentando o escoamento superficial, que antes ficava retido pelas plantas, e com a urbanização passa a escoar no canal, exigindo assim maior capacidade de escoamento das seções.

O efeito principal da urbanização é o aumento da vazão máxima e o hidrograma típico de uma bacia natural em conjunto com o resultante da urbanização são apresentados na Figura 7, onde observa-se a direta correlação entre o aumento da urbanização e o aumento da vazão em relação ao tempo em determinada bacia hidrográfica.

Figura 7 - Impacto da urbanização no hidrograma de uma bacia hidrográfica.



Fonte: Arroio Dilúvio, Porto Alegre (Motta e Tucci, 1984).

- Inundações:

A inundação é o processo em que ocorre submersão de áreas fora dos limites normais de um curso d'agua, em zonas que normalmente não se encontram submersas (Figura 8). Esse transbordamento ocorre de modo gradual em áreas de planície, geralmente ocasionado por chuvas distribuídas e alto volume acumulado na bacia de contribuição (CEMADEN, 2016).

Figura 8 - Perfil esquemático do processo de enchente e inundação.



Fonte: Min. Cidades/IPT, 2007.

Geralmente os assentamentos urbanos encontram-se localizados em áreas de planícies de inundação e com o crescimento desordenado das cidades, têm sido observado um aumento progressivo da intensidade e alcance dos eventos de inundação, bem como o impacto destes na população. A falta de infraestrutura das cidades e o desmatamento da mata ciliar favorecem o aumento dos volumes de vazão e a velocidade de propagação da onda de inundação que chegam as regiões onde os eventos hidrológicos constituem um risco de desastre natural para a população.

Conforme Tucci (2000), as inundações podem ser provocadas por:

- remanso devido a macrodrenagem, rio principal, lago, reservatório ou oceano;

- estrangulamento da seção do rio devido a aterros e pilares de pontes, estradas, aterros para aproveitamento da área, assoreamento do leito do rio e resíduos sólidos (lixo); e
- erros de execução e projeto de drenagem de rodovias e avenidas, entre outros.

Comumente, o problema de inundação se espalha nas áreas urbanas devido ao pouco controle sobre as diferentes entidades que atuam na infraestrutura urbana; projetos de pontes, adutoras ou rodovias são frequentemente realizados sem se considerar o impacto sobre a drenagem.

Sendo assim, a inundação ocorre quando a enchente atinge a cota acima do nível máximo da calha principal do rio e assim ocorre o extravasamento das águas do canal de drenagem para as áreas marginais. Essas enchentes e inundações são processos naturais de natureza hidrometeorológica que desencadeiam devido as chuvas fortes, de longa duração, degelo nas montanhas e outros eventos como furações e tornados, podendo se intensificar ainda mais devido a alterações ambientais e intervenções urbanas produzidas pelo ser humano (CARVALHO et al., 2007). Com frequência precipitações do tipo convectivas são condicionantes de inundações em pequenas bacias urbanas (TUCCI et al.,1995; SANTOS, 2007).

- Alagamentos:

Extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e consequente acúmulo de água em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas são características dos alagamentos, sendo assim o alagamento não conforma um desastre natural, sendo definidos como acúmulo momentâneo de águas em uma dada área por problemas no sistema de drenagem, podendo ou não ter relação com processos de natureza fluvial (Min. Cidades/IPT, 2007).

Esse fenômeno também está relacionado com a redução da infiltração natural nos solos urbanos, a qual é provocada por interferências como: pavimentação de ruas e construção de calçadas, compactação e impermeabilização do solo, construção adensada de edificações, desmatamento de encostas, assoreamento dos rios, acumulação de detritos em galerias pluviais, canais de drenagem / cursos d’água, insuficiência da rede de galerias pluviais e todos os fatores que reduzem a superfície de infiltração, contribuem para reduzir o solo exposto e concentram o escoamento das águas.

- Enxurradas:

Enxurradas são definidas como o escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode ou não estar associado a áreas de domínio dos processos fluviais (AMARA E RIBEIRO, 2009). São provocadas por chuvas intensas e concentradas, em regiões de relevo acidentado, caracterizando-se por produzirem súbitas e violentas elevações dos caudais, os quais escoam-se de forma rápida e intensa.

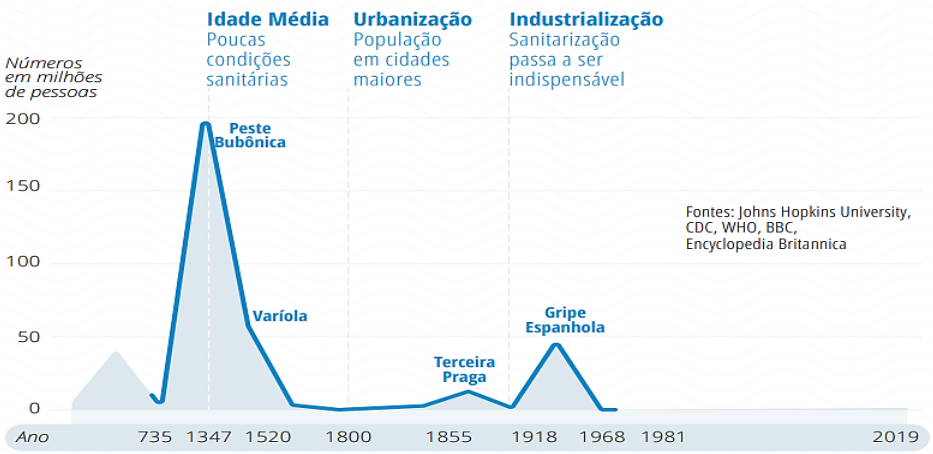
Quando ocorre uma precipitação sobre a bacia hidrográfica, a parte que não se infiltra pelo solo ou é retida por algum elemento interceptador escoa superficialmente até alcançar um curso d'água, nisto a vazão aumenta de instante a instante até atingir um valor máximo, decrescendo em seguida, de modo mais lento (OSTROWSKY, 1991). Conforme afirmação de Pruski et al. (2004), quanto maior a área e a declividade da bacia, maior deverá ser a vazão máxima de escoamento superficial que ocorrerá na seção de deságue da bacia, e à medida que a água superficial escoa nas zonas montanhosas carrega juntamente grande quantidade de material de variadas dimensões representando alto poder destrutivo.

4.4. A IMPORTÂNCIA DO SANEAMENTO BÁSICO PARA A SAÚDE PÚBLICA

O primeiro esforço sistemático a fim de entender a dinâmica de doenças bastante frequentes entre as populações (doenças endêmicas) e outras que não são tão presentes, mas que aumentavam muito em determinadas condições ou períodos (doenças epidêmicas), foi feito no século V a.C. (entre 500 e 401 a.C.), pelo modelo hipocrático; no qual, no que diz respeito a saúde humana, observou-se que águas abundantes e pouco salgadas em locais elevados, quentes no verão e frias no inverno, poderiam provocar disenterias e diarreias nos seres humanos, sendo que águas voltadas para o nascer do sol eram consideradas mais limpas e promoviam a saúde da população, reduzindo casos de doenças (SOUZA et al., 2015).

Um retrocesso na qualidade de vida urbana na Europa foi observado durante a Idade Média, haja vista que em 1300 a população mundial era de 400 milhões, havendo praticamente dobrado em 11 séculos, desde 200 d.C. Tal condição significou o maior lançamento de dejetos em cursos d´água e a proliferação de parasitas capazes de transmitir doenças infecto-parasitárias (DIP), como cólera, diarreias, febre tifoide, hepatite A, esquistossomose e helmintíases; dessa forma, as alterações ambientais e a concentração de populações sem saneamento propiciaram condições para muitas doenças conhecidas até os dias de hoje (Figura 9).

Figura 9 - Mortes por doenças na história.



Fonte: SNIS (2021).

Em meados do século XIX, o médico Jonh Snow provou que doenças, como a cólera, estavam relacionadas ao saneamento, com tal pesquisa ampliou-se a preocupação com a eliminação dos resíduos gerados (esgotos e resíduos sólidos) e com o acesso à água de qualidade para o consumo humano, assim foi fortalecida a ideia do saneamento como preocupação pública e ação do estado, anteriormente tratado no âmbito das famílias, aldeias e vilarejos.

No Brasil, o saneamento abrange quatro serviços básicos: abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana com manejo dos resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Ainda que consistam em sistemas com peculiaridades distintas, na prática estão intimamente interligados e interferem diretamente na qualidade de vida da população e na qualidade do ambiente em que se vive.

4.5. TRAJETÓRIA DA DRENAGEM URBANA NO BRASIL

Nos anos seguintes à Proclamação da República, em 1889 o conceito higienista do saneamento urbano se consolidou no Brasil, segundo Silveira (1998), decorrente das reformas urbanísticas em grandes cidades e diante da necessidade de sanear os núcleos urbanos que sofriam com epidemias e doenças com altas taxas de mortalidade. Na Europa muitos países já possuíam um sistema unitário de transporte dos efluentes sanitários e pluviais, porém somente a partir da segunda metade do século XX se espalhou rapidamente o sistema separador absoluto (Feo et al., 2014), sendo majoritariamente adotado no Brasil.

Segundo Tucci (2012), a adoção dos modelos higienistas nos países em desenvolvimento seguiu dois cenários, o primeiro onde cidades que construíram redes de drenagem sem a rede de esgoto doméstico, contaminando as fontes de água devido à poluição doméstica e industrial, e o segundo onde algumas cidades construíram redes de esgoto, mas

evitaram as redes de drenagem, resultando na redução da poluição doméstica e no aumento de inundações. Por sua vez, Tucci (2005) divide em quatro fases a trajetória e a concepção da drenagem pluvial, sendo as fases, descritas na Tabela 1:

Tabela 1 - Fases da trajetória da drenagem urbana e suas principais características no Brasil.

Fases	Período	Características
Fase pré-higienista	Anterior ao século XX	• Esgoto em fossas ou diretamente nas ruas; • Efluentes sem coleta ou tratamento; • Epidemias e doenças com altas taxas de mortalidade;
Fase higienista	A partir de 1889	• Intensas reformas urbanísticas; • Crescimento demográfico de muitas cidades; • Aplicação direta de métodos de dimensionamento desenvolvidos para cidades europeias, sem validação local; • Estimativa "arbitrária" da chuva de projeto devido à inexistência de infraestrutura de registro de precipitações; • Transporte do esgoto junto com águas pluviais por canalizações; • Redução das doenças e da mortalidade; • Degradação de rios e mananciais;
Racionalização e normatização	Entre 1930 e 1970	• Pouca evolução na aquisição de dados básicos e na realização de novos estudos hidrológicos de abrangência nacional; • Desenvolvimento de instrumentos de cálculo de obras hidráulicas; • Importantes publicações nacionais com conhecimento local de parâmetros de projeto, principalmente sobre chuvas intensas; • Uniformização das práticas de cálculo hidrológico na drenagem;
Fase corretiva	Entre 1970 e 1990	• Disponibilidade maior de informações e dados em computadores; • Tendência mundial de simular o ciclo hidrológico, principalmente a transformação chuva-vazão e algoritmos matemáticos; • Sistema separador absoluto; • Tratamento dos esgotos sanitários; • Amortecimento dos escoamentos pluviais; • Melhoria da qualidade das águas dos rios; • Construção de obras de grande porte e impacto;
Desenvolvimento sustentável	Após 1990	• Controle na fonte, incentivo à infiltração e à retenção das águas pluviais; • Tratamento do esgoto pluvial; • Menor interferência ao ciclo hidrológico; • Proposição de modelos que integram gestão das águas urbanas, abastecimento, esgotamento sanitário e drenagem urbana; • Conservação ambiental; • Melhoria da qualidade de vida; • Controle das inundações;
Soluções baseadas na natureza	A partir de 2018	• Consciência ampliada no conhecer e no cuidar das águas; • Atuação centrada em diálogos e atenção aos ecossistemas hídricos; • Gestão das águas em sintonia com a natureza, por exemplo: SBN • Combinação do conhecimento e de práticas convencionais da engenharia com as teses de desenvolvimento sustentável e preocupações com as mudanças climáticas.

Fonte: Silveira (1998), Tucci (2005), Miguez, Veról e Rezende (2016), Pinheiro e Santos (2019) e Christofidis, Assumpção e Kligerman (2020).

No fim da década de 1990 o Brasil acompanhou a evolução de outros países durante a fase higienista, contudo não conseguiu avançar satisfatoriamente para as fases seguintes (SILVEIRA, 1998), mas mais de uma década depois, Tucci (2012) apontou que grande parte das cidades brasileiras ainda permanecia na fase higienista e que um número reduzido de cidades, como Porto Alegre, Brasília, Campo Grande e São Paulo, transitava para a sustentável.

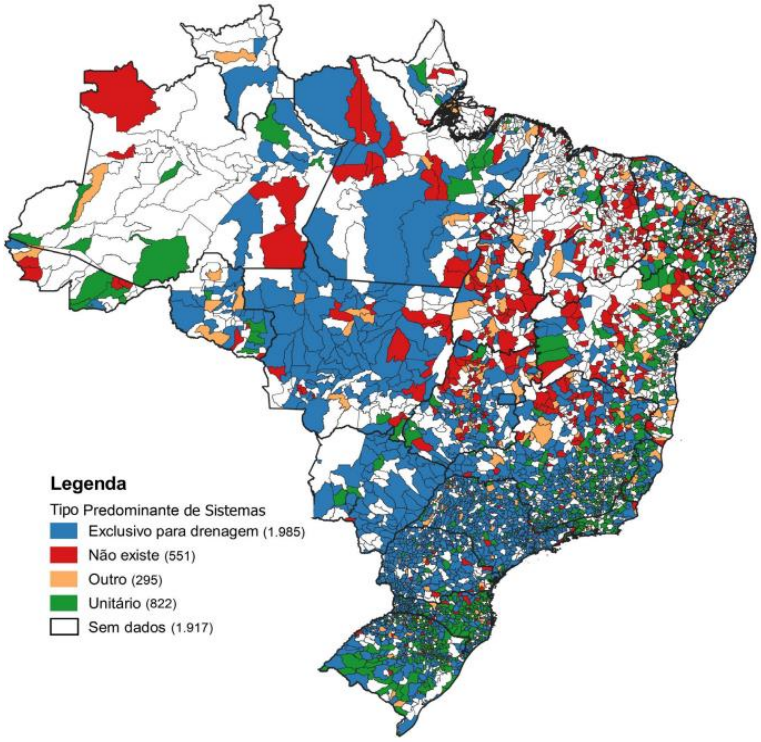
4.5.1. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS

Desde 2015 com a criação do módulo de águas pluviais (SNIS-AP), a principal e mais completa base de dados sobre saneamento básico no Brasil, o SNIS, vinculado à Secretaria Nacional de Saneamento (SNS), do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), apresenta dados sobre os serviços públicos de drenagem e gestão de águas pluviais urbanas por municípios. Além das variáveis e informações gerais, financeiras e de infraestruturas, o diagnóstico do componente relata a existência ou não de soluções de drenagem natural, a exemplo de faixas ou valas de infiltração e compensatórias, reservatórios e parques lineares nas cidades. O número de informações solicitadas às prefeituras e aos prestadores de serviços de saneamento básico sobre as soluções de drenagem pluvial ainda é pequeno, porém importante para o planejamento e a gestão. Os dados declarados subsidiam a elaboração do Diagnóstico de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas, atualmente na quarta edição (2019), trazendo um panorama do setor, sendo referência para os estudos de desempenho da prestação de serviços e para o acompanhamento da evolução do componente.

O SNIS-AP na sua mais recente e quarta edição contou com respostas de 3.653 municípios (65,6% do total de municípios brasileiros), representando 83,0% da população urbana do país. Prestaram informações dentro do prazo 25 capitais de estado mais o Distrito Federal, a única exceção foi o estado de Porto Velho. A região Sul, como nas edições anteriores, teve o maior número de municípios participantes, com cerca de 83,5%, em contrapartida, a região Norte persistiu como aquela com a menor participação municipal, com 46,0% (BRASIL, 2020c).

A Figura 5 apresenta os tipos predominantes de sistemas de drenagem urbana por municípios brasileiros, classificados em: exclusivo para drenagem, unitário, inexistente e outro. Observa-se que o município de Manaus, capital do Amazonas, apresenta sistema exclusivo para rede de drenagem.

Figura 10 - Tipos predominantes de sistemas de drenagem urbana por municípios brasileiros.

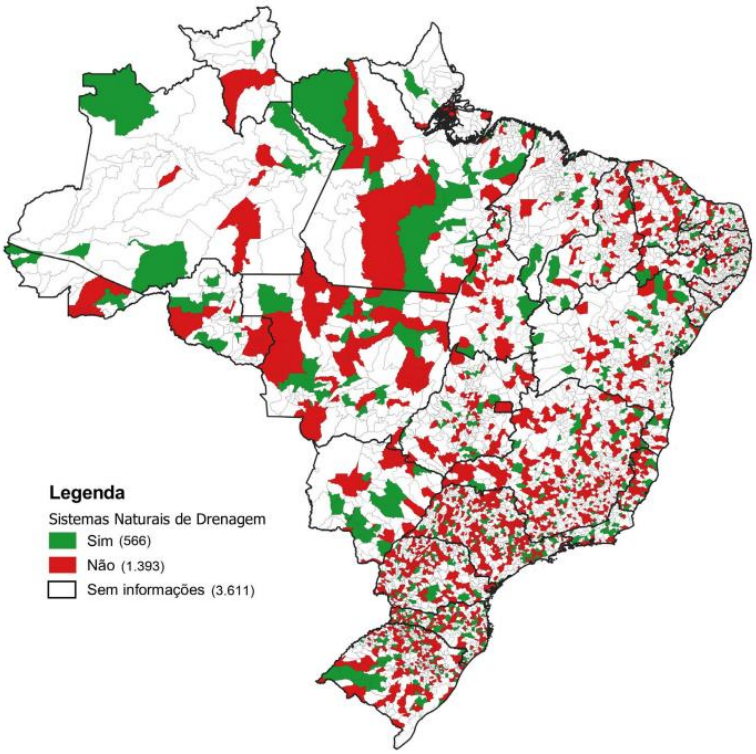


Fonte: SNIS-AP, 2019.

Cerca de 15,1% de vias públicas do país nas áreas urbanas contam com redes ou canais pluviais subterrâneos e um percentual de 62,8% com dispositivos que conduzem o escoamento superficialmente, como sarjetas e meio-fio. Os sistemas de drenagem da maioria dos municípios, independentemente da natureza (separadores ou unitários), são tradicionais, ou seja, constituídos de estruturas de mero afastamento das águas, como galerias subterrâneas, canais e dispositivos de condução superficial (SNIS-AP, 2019).

Ainda conforme o SNIS-AP (2019), apenas uma pequena parcela dos municípios adota algum tipo de solução sustentável de drenagem, seja de infiltração e/ou armazenamento temporário, como valas ou faixas de infiltração, parques lineares e reservatórios de amortecimento e dos 3.653 municípios da amostra, somente 855 (23,4%) possuem essas soluções (Brasil, 2020c), as infraestruturas de drenagem natural (infiltração natural por faixas ou valas) são as medidas mais adotadas, estando presente em vias públicas urbanas de 566 municípios, conforme ilustra a Figura 11.

Figura 11 - Municípios com algum sistema natural de drenagem.



Fonte: SNIS-AP, 2019.

4.5.2. Desafios na gestão de drenagem pluvial brasileira

Diretrizes para políticas com foco no planejamento integrado de ações e na gestão sustentável são pautas de debate acadêmico referente ao componente drenagem de águas pluviais a décadas no Brasil (TUCCI, 2002; 2012; SOUZA, CRUZ E TUCCI, 2012; RIGHETTO ET AL., 2012; CHRISTOFIDIS, ASSUMPÇÃO E KLIGERMAN, 2019). Temas como os instrumentos de planejamento e gestão foram debatidos nos anos 1990 e 2000, pelos mencionados autores, dando suporte à Lei no 11.445/2007.

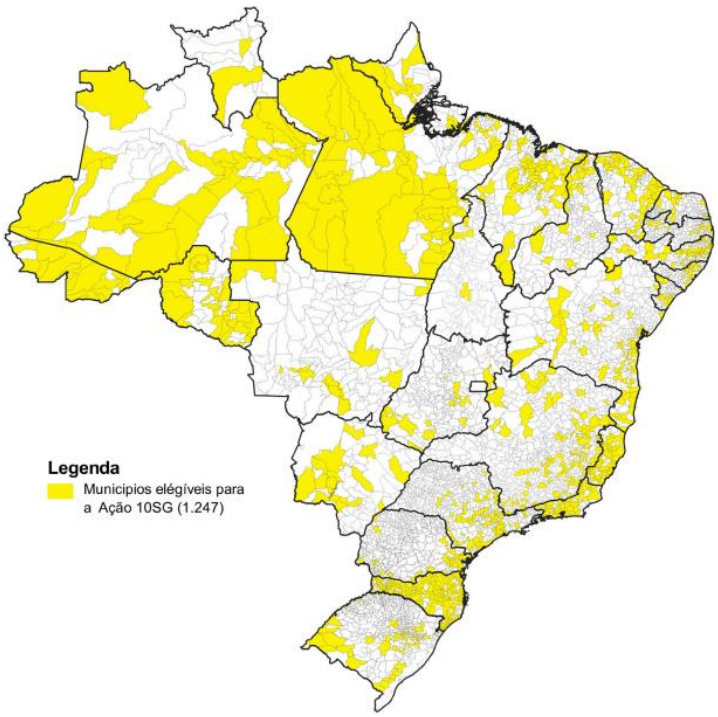
O governo federal com o Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) efetivou uma parceria interministerial e execução do então Ministério de Ciência e Tecnologia, atual Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (RIGHETTO et al., 2012). As diretrizes como a instituição do PLANSAB, que define a atuação da União no setor, a estruturação de um sistema de informações, a elaboração de planos municipais de saneamento básico (PMSBs), a definição da titularidade dos municípios e os planos ou as políticas para cada um dos componentes do saneamento básico, são algumas que foram trazidas pelo debate e que foram incorporadas na legislação.

Os hiatos estruturantes causam consequências na evolução do componente águas pluviais, principalmente em termos de organização orçamentária e de resultados dos serviços.

Uma maior destinação de investimentos para os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário se faz necessária pelas demandas legítimas da sociedade, há uma falta de priorização do tema por parte do núcleo político dirigente em todos os níveis. Também tem sido um grande desafio a necessidade de coordenar as ações locais (usos do solo, obras de drenagem, contenção de riscos de desastres, provimento de água, políticas habitacionais e de saneamento) com ações no plano federal (diretrizes gerais, suporte financeiro, apoio a projetos, integração de políticas nacionais), diante das fragilidades econômicas e estruturais de grande parte dos municípios, como destacam Kuwajima et al. (2020) e dados da Firjan (2018).

De acordo com Brasil (2020c), são elegíveis à Ação Orçamentária 10SG aos municípios que tenham processo hidrológico crítico (inundação, enxurrada, enchente ou alagamento) como dominante e possuam mapeamento de setorização de risco realizados ou reconhecidos pelo CPRM, tais condições são limitadoras de acesso a municípios desprovidos de capacidades mínimas de gestão.

Figura 12 - Municípios elegíveis para acessar os recursos do programa Gestão de Riscos e Desastres.



Fonte: Brasil (2020c).

Devido as restrições, até 2019 foram mapeados e indicados como contendo processo dominante de origem hidrológica um total de 1.247 municípios, conforme a Figura 12 (BRASIL, 2020c). A distribuição regional desses municípios indica que 155 (12,5%) deles estão localizados na região Norte, 379 (30,4%) no Nordeste, 356 (28,5%) na região Sudeste, 317 (25,4%) na região Sul e 40 (3,2%) no Centro-Oeste do país.

4.6. A RELAÇÃO ENTRE O SANEAMENTO BÁSICO E OS OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS)

Devido a sua importância em nível global, o saneamento é incorporado ao objetivo 6, dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), que consiste em assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos. No ODS 12 ressaltam-se objetivos que visam assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis por meio de metas voltadas para a redução de desperdícios e da geração de resíduos, entre outras. Já o ODS 11 almeja tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis, a partir de metas relacionadas à urbanização, como mobilidade, gestão de resíduos sólidos e saneamento, mais especificamente, desastres relacionados à água, o que dialoga com a drenagem e o manejo das águas pluviais urbanas.

4.6.1. Cidades Resilientes a Desastres

Em 2012 a Organização das Nações Unidas (ONU) lançou o guia "Como construir cidades mais resilientes", um material que tem como objetivo auxiliar gestores públicos nas tomadas de decisões e implantação de atividades relacionadas à redução de riscos ocasionados por desastres naturais.

No Brasil em 2019, o Ministério do Desenvolvimento Regional lançou a iniciativa denominada "Construindo Cidades Resilientes 2030", liderada pelo Escritório das Nações Unidas para a Redução de Riscos (UNDRR), sendo uma iniciativa que, por meio da articulação de vários atores, promove a resiliência local por meio da defesa política, da troca de conhecimentos e experiências e do estabelecimento de redes de aprendizagem entre as cidades, promovendo, simultaneamente, o fortalecimento das capacidades técnicas, a conexão de vários níveis de governo e as alianças estratégicas.

A inciativa Construindo Cidades Resilientes 2030, conhecida como MCR2030, tem o objetivo de assegurar que as cidades estejam se tornando inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis até 2030, contribuindo diretamente para a realização do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável e de outras iniciativas globais, como o Marco de Sendai para Redução do Risco de Desastres, o Acordo de Paris e a Nova Agenda Urbana.

4.7. AS LEGISLAÇÕES BRASILEIRAS E SANEAMENTO BÁSICO

Segundo Queiroz e Barbieri (2012), as políticas direcionadas a sustentabilidade ambiental em uma perspectiva urbana são atualmente elementares. A carência de políticas

direcionadas a sustentabilidade representa um significativo paradoxo, frente a grande importância do debate urbano-ambiental dentro do processo de acumulação capitalista. Portanto, é inquestionável a necessidade de se modificar esse quadro, de modo que as políticas de sustentabilidade ambiental deixem de ser elementares e passem a ser prioritárias pelas autoridades públicas.

4.7.1. Lei das Águas

A Lei de Recursos Hídricos ou Lei das Águas (Lei nº. 9.433), estabeleceu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, tendo definido como objetivos:

- assegurar a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais (art. 1º);
- assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos; e
- garantir a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas no desenvolvimento sustentado.

Esse conjunto de objetivos, segundo Ferreira e Carrera-Fernandez (2003) é capaz de exercer uma grande influência em quase todo o universo de gerenciamento e planejamento dos usos de água, mas isso exigirá das instituições envolvidas um trabalho coordenado, sinérgico e encadeado, e a participação dos múltiplos atores e usuários da água no país. Esses objetivos possuem alguns fundamentos básicos, também definidos pela lei, aprimorados de princípios internacionalmente adotados e fixados na Agenda 21 da Conferência Rio 92, que são:

- a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do poder público, dos usuários e das comunidades locais;
- a água é um bem de domínio público;
- em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a manutenção de animais; e
- a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação dessa política e para a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (art. 2º), inspirado no modelo francês.

A descentralização tem como objetivo geral obter mais democracia, mais eficácia e mais justiça social, conforme enfatiza Jacobi (2000), devendo essa descentralização visar o aprimoramento das relações intergovernamentais, capacitar os governos subnacionais para as funções que lhe são atribuídas e possibilitar o controle social do poder público pela população organizada. De acordo com Ferreira e Carrera-Fernandez (2003), no nível da bacia que as decisões de alocação têm implicações econômicas mais abrangentes, estando nesse nível as relações hidrológicas, agronômicas e econômicas podem ser integradas em uma estrutura de modelagem mais ampla, possibilitando a criação e aplicação de instrumentos de política que objetivem o uso econômico e racional dos recursos hídricos.

4.7.2. Marco legal do saneamento básico no Brasil

A Lei nº 11.445/2007, atualizada pela Lei nº 14.026/2020, institui o marco legal do saneamento básico no Brasil, ela apresenta a definição de saneamento e as diretrizes para a sua prestação, cada um dos seus componentes possui características específicas relacionadas às infraestruturas, instalações operacionais e prestação. Os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário são os mais consolidados e organizados no Brasil, seguidos da limpeza e manejo de resíduos sólidos urbanos. Já os serviços de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (DMAPU) são mais recentes, portanto ainda não atingiram o grau de organização e consolidação dos demais componentes, assim não se dispõe de um índice de atendimento da população para estes serviços, seja porque não estão devidamente organizados - o que dificulta o fornecimento de informações -, seja porque não há uma concordância entre os especialistas sobre como o definir e calcular índices, ou ainda, porque a maneira de se medir sua cobertura não ocorre da mesma forma que nos demais componentes.

Em 15 de julho de 2020, o novo Marco Legal do Saneamento Básico foi sancionado, e tem como seu objetivo universalizar e qualificar a prestação dos serviços no setor, assim a meta do Governo Federal Brasileiro é alcançar a universalização até 31 de dezembro de 2033, garantindo que 99% da população brasileira tenha acesso à água potável e 90% ao tratamento e coleta de esgoto. Hoje 35 milhões de pessoas não têm acesso à água tratada e mais de 100 milhões não contam com serviços de coleta de esgoto.

A nova lei contribuirá, também, para a revitalização de bacias hidrográficas, a conservação do meio ambiente e a redução de perdas de água, além de proporcionar mais qualidade de vida e saúde à população, aquecer a economia e gerar empregos. Uma redução de até R$ 1,45 bilhão com custos anuais com saúde é esperada com a universalização dos serviços de água e esgoto, segundo dados da Confederação Nacional da Indústria (CNI), além disso, a

cada R$ 1 investido em saneamento, deverá ser gerada economia de R$ 4 com a prevenção de doenças causadas pela falta do serviço, de acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS).

Estima-se também que, anualmente 15 mil pessoas morram e 350 mil sejam internadas no Brasil devido a doenças ligadas à precariedade do saneamento básico, a OMS destacou que a situação foi agravada pela pandemia do Corona vírus, sendo a atual crise motivo de se tornar ainda mais urgente essas mudanças. Vale ressaltar que cerca de 35 milhões de brasileiros não têm acesso a água tratada e metade da população não tem serviços de coleta de esgoto.

A maior parte dos investimentos em saneamento básico no país está concentrada em abastecimento de água potável e esgotamento sanitário, cerca de 40,3% e 42,8%, respectivamente do total de investimentos entre 2003 e 2017, segundo revisão do PLANSAB (BRASIL, 2019). Um panorama muito frequente de incapacidade financeira do sistema se autossustentar é configurado devido à falta de alocação contínua e sistemática de recursos e os altos custos relacionados à implantação e à manutenção da infraestrutura de drenagem (BAPTISTA E NASCIMENTO, 2002; COLOMBELLI, 2018).

A Lei no 14.026/2020 destaca a sustentabilidade econômico-financeira como um dos princípios fundamentais da prestação dos serviços prevendo, sempre que possível, a cobrança como instrumento de remuneração (BRASIL, 2007; 2020b). Entretanto, conforme destacam Cançado, Nascimento e Cabral (2006), a cobrança pela drenagem urbana é praticamente inexistente no país, principalmente devido às dificuldades de mensuração da demanda de cada usuário dos serviços, diferente do que que acontece com os serviços de abastecimento de água e coleta de esgoto, além da falta de autonomia do prestador costuma esbarrar em questões de interesse político, como o receio de gestores municipais de implantar uma taxa que possa gerar um impacto negativo na opinião pública.

5. MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa trata-se quanto aos fins, de exploratória e descritiva e quanto aos meios, de bibliográfica, documental e pesquisa de campo. Exploratória, porque realizou-se inicialmente um diagnóstico da rede de drenagem existe na AID para entendimento do contexto e obtenção dos insights iniciais, proporcionando maior familiaridade com a problemática abordada. Descritiva, porque visou descrever técnicas alternativas ao sistema de drenagem existente visando a redução dos riscos de inundações e danos no centro da cidade de Manaus.

A complexidade dos dados trabalhados exigiu a utilização de um método que possibilitasse sua compreensão e decodificação, portanto os dados coletados na pesquisa

bibliográfica e documental foram tratados qualitativamente. Os dados coletados no primeiro estágio da pesquisa, por meio de pesquisa bibliográfica, serviram de base para o referencial teórico que contextualiza esta pesquisa. Na pesquisa documental, foram levantados documentos e imagens do acervo do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico do Estado, da Secretaria Estadual da Cultura (IPHAE/SEDAC), facilitando a compreensão e seleção das informações pertinentes à rede de drenagem existente na AID.

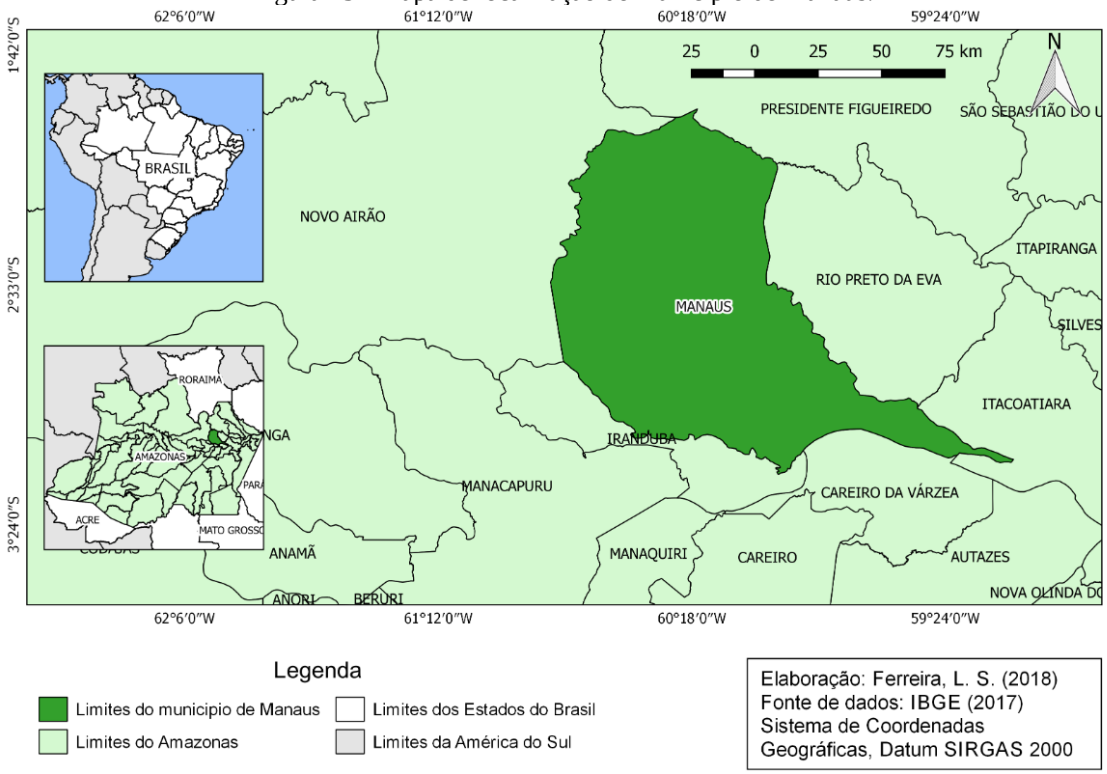
Assumiu a forma de estudo de caso por estar limitada à realidade de uma única área que sofre a ação direta da inundação no Centro de Manaus e foi realizada de forma a garantir maior agilidade e precisão nas ações do poder público no local.

5.1. ÁREA DE ESTUDO

a) Localização

A área de estudo encontra-se na bacia do rio Negro (Figura 13), que possui cerca de 690.000 km² de área, representando aproximadamente 11% da Bacia Hidrográfica do rio Amazonas.

Figura 13 - Mapa de localização do município de Manaus.



Fonte: Ferreira, L. S., 2018.

A área de estudo localiza-se na parte histórica do centro de Manaus e é afetada diretamente no período de cheia do rio Negro, entre os meses de dezembro a junho.

Com base na delimitação dos processos de licenciamentos / estudos ambientais e tendo em vista o objetivo do estudo realizado, que infere a implantação de intervenções no sistema

existente de drenagem local, adotou-se a denominação para a área analisada de acordo com a influência e potenciais impactos gerados para a região. Nesse contexto, as áreas de influência podem ser divididas de diversas maneiras. Habitualmente, são classificadas em três grupos: Área Diretamente Afetada (ADA), Área de Influência Direta (AID) e Área de Influência Indireta (AII).

Assim, a delimitação das áreas de influência, de acordo com a Resolução CONAMA nº 01 de 1986 e o Manual da CETESB (2014) definem-se como:

- Área Diretamente Afetada (ADA): corresponde à área que sofrerá a ação direta do planejamento, implantação, operação e/ou desativação do empreendimento, incluindo as faixas de servidão e/ou da propriedade do empreendimento, acessos, áreas de apoio, depósitos de solos, estéril, rejeito e/ou resíduos, jazidas de solo e rocha;
- Área de Influência Direta (AID): corresponde à área que sofrerá os impactos diretos do planejamento, implantação, operação e/ou desativação do empreendimento, que engloba a ADA e está relacionada as suas proximidades, sendo afetada ou afeta os processos que ocorrem na ADA; e
- Área de Influência Indireta (AII): corresponde à área real ou potencialmente sujeita aos impactos indiretos do planejamento, implantação, operação e/ou desativação do empreendimento, englobando todas as demais áreas de influência, onde as consequências dos impactos gerados pelo empreendimento apresentam magnitude de baixa relevância.

Portanto, denominou-se a área de estudo como Área de Influência Direta (AID) dos eventos de inundações recorrentes na parte histórica da cidade, capital do estado do Amazonas, ilustrada na Figura 14 e detém aproximadamente 155 hectares, tendo como limite ao norte a Rua Ramos Ferreira, ao sul o rio Negro, a leste a Av. Joaquim Nabuco, e a oeste a Rua Bernardo Ramos/Av. 7 de Setembro/Rua Luiz Antony, cujas coordenas apresentam-se na Tabela 2 (Apêndice 07).

Figura 14 - Área de Estudo (Área de Influência Direta – AID).



Fonte: Adaptado de Google Earth, 2023.

Em relação à área urbanizada, a área de estudo limita-se ao norte com os bairros São Geraldo, Nossa Senhora das Graças e Adrianópolis; a leste com os Bairros Praça 14 de Janeiro, Cachoeirinha e Educandos; a oeste com os bairros Nossa Senhora Aparecida e Presidente Vargas e ao sul com o rio Negro, fato que faz com que essas áreas inundem em períodos de elevação das cotas do rio negro (Apêndice 03).

O centro histórico de Manaus apresenta uma fração urbana formada por edificações do período áureo da borracha, mesclada a edifícios modernos (Figura 15). Representa um dos maiores testemunhos de uma fase econômica ímpar no Brasil. Por seu valor cultural, o Centro foi tombado pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), em 2012.

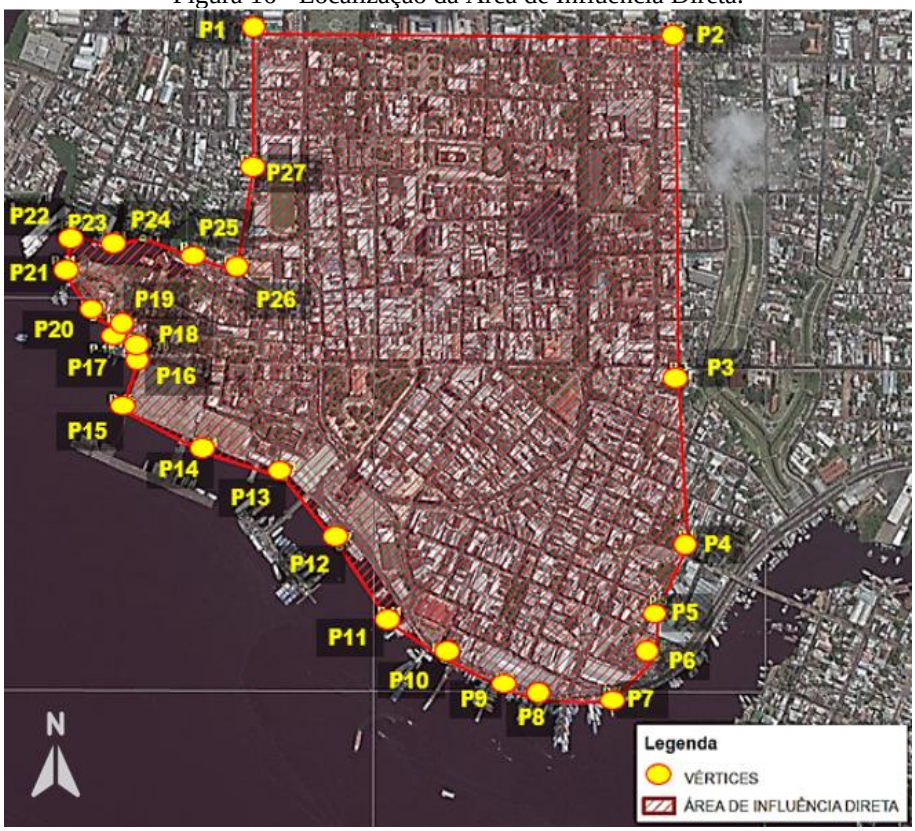
Figura 15 - Vista aérea da orla de Manaus na AID.



Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

É a principal região da cidade, bairro da Zona Sul de Manaus, o maior bairro comercial e, também, considerado bairro residencial por ainda possuir residências e prédios históricos, como a Alfândega, Teatro Amazonas, Igreja dos Remédios, Instituto de Educação do Amazonas (IEA), Colégio Brasileiro Pedro Silvestre (CBPS), SEBRAE, Telemar, Igreja da Matriz, Igreja São Sebastião entre outros prédios e residências históricas (Figura 16). É um dos bairros de IPTU mais caros da cidade. Cada residência da região é responsável por pagar, em média, R$ 428,52 de IPTU (IPHAN, 2022).

Figura 16 - Localização da Área de Influência Direta.



Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Tabela 2 - Tabela de coordenadas da AID.

TABELA DE DAODS E COORDENADAS							
LADOS		AZIMUTE	DISTÂNCIA [m]			Coordenadas Geográficas	
Vértices	Vértices			N [m]	E [m]	Latitude	Longitude
P-27	P-1	0° 01' 26"	318,44	9.653.820,51	830.401,92	3° 07 39,82745" S	60° 01'39,70700" W
P-1	P-2	90° 26' 52"	1.001, 17	9.653.812,69	831.403,06	3° 07' 39,98948" S	60° 01' 07,31318" W
P-2	P-3	179° 37' 21"	799, 16	9.653.013,55	831.408,33	3° 08' 05,98108" S	60° 01' 07.06922" W
P-3	P-4	176° 45' 41"	394,7	9.652.619,48	831.430,63	3° 08' 18,79598" S	60° 01' 06,31137" W
P-4	P-5	204° 19' 06"	170, 43	9.652.464 17	831.360,44	3° 08 23.85398" S	60° 01' 08.56800" W
P-5	P-6	181° 50' 48"	107,44	9.652.356,78	831.356,98	3° 08' 27,34700" S	60° 01' 08,67012' W
P-6	P-7	224° 39' 39"	150,09	9.652.250,03	831.251,48	3° 08' 30,82901" S	60° 01° 12.07384^ W
P-7	P-8	271° 05' 24"	172,51	9.652.253,31	831.079,01	3° 08' 30,73827" S	60° 01' 17,65484" W
P-8	P-9	290° 40' 00"	87,95	9.652.284,35	830.996,72	3° 08' 29.73636" S	60° 01' 20.32021" W
P-9	P-10	295° 43' 00"	157,24	9.652.352.58	830.855,05	3° 08' 27.53027" S	60° 01 24.91039" W
P-10	P-11	303° 14' 01"	155,67	9.652.437,89	830.724,85	3° 08' 24, 76749" S	60° 01' 29, 13127" W
P-11	P-12	326° 15' 15"	213,01	9.652.615,02	830.606,52	3° 08' 19,01754" S	60° 01'32,97635" W
P-12	P-13	321° 06' 09"	210,5	9.652.778,84	830.474,34	3° 08' 13,70141" S	60° 01' 37,26818" W
P-13	P-14	287° 02 19"	194,37	9.652.835,79	830.288,50	3° 08' 11,86617" S	60° 01' 43,28648" W
P-14	P-15	297° 29' 05"	223,06	9.652.938.74	830.090,62	3° 08 08,53612" S	60° 01' 49.69884" W
P-15	P-16	19° 39' 56"	129,89	9.653.061,05	830. 134,33	3° 08' 04,55393" S	60° 01' 48,29575" W
P-16	P-17	290° 05' 40"	22,21	9.653.068.68	830.113,47	3° 08' 04.30764" S	60° 01' 48.97141" W
P-17	P-18	290° 05' 40"	49,28	9.653.108, 13	830.083,95	3° 08' 03,02702" S	60° 01' 49,93012' W
P-18	P-19	323° 11' 59"	19,23	9.653.127,35	830.084,69	3° 08' 02,40211" S	60° 01' 49,90809" W
P-19	P-20	2° 11' 32"	67,71	9.653.155,99	830.023,34	3° 08' 01.47605" S	60° 01' 51.89573" W
P-20	P-21	295° 01' 47'	127,28	9.653.262,44	829.953,56	3° 07 58,02022" S	60° 01' 54, 16327" W
P-21	P-22	326° 45' 17"	86,39	9.653.346,40	829.973,91	3° 07 55,28764" S	60° 01'53,51248" W
P-22	P-23	13° 37' 33"	101,55	9.653.321,28	830.072,30	3° 07 56,09550" S	60° 01' 50,32655" W
P-23	P-24	104° 19' 13"	71,86	9.653.341,88	830. 141, 14	3° 07' 55.41904" S	60° 01' 48. 10095" W
P-24	P-25	73° 20' 19"	126,3	9.653.294 82	830.258,35	3° 07' 56.93894" S	60° 01' 44.30437" W
P-25	P-26	111° 52' 40"	108,67	9.653.262,77	830.362, 18	3° 07 57,97173" S	60° 01° 40,94176" W
P-26	P-27	107° 09° 11"	242,55	9.653.502,07	830.401,79	3° 07' 50, 18493" S	60° 01' 39,68208" W

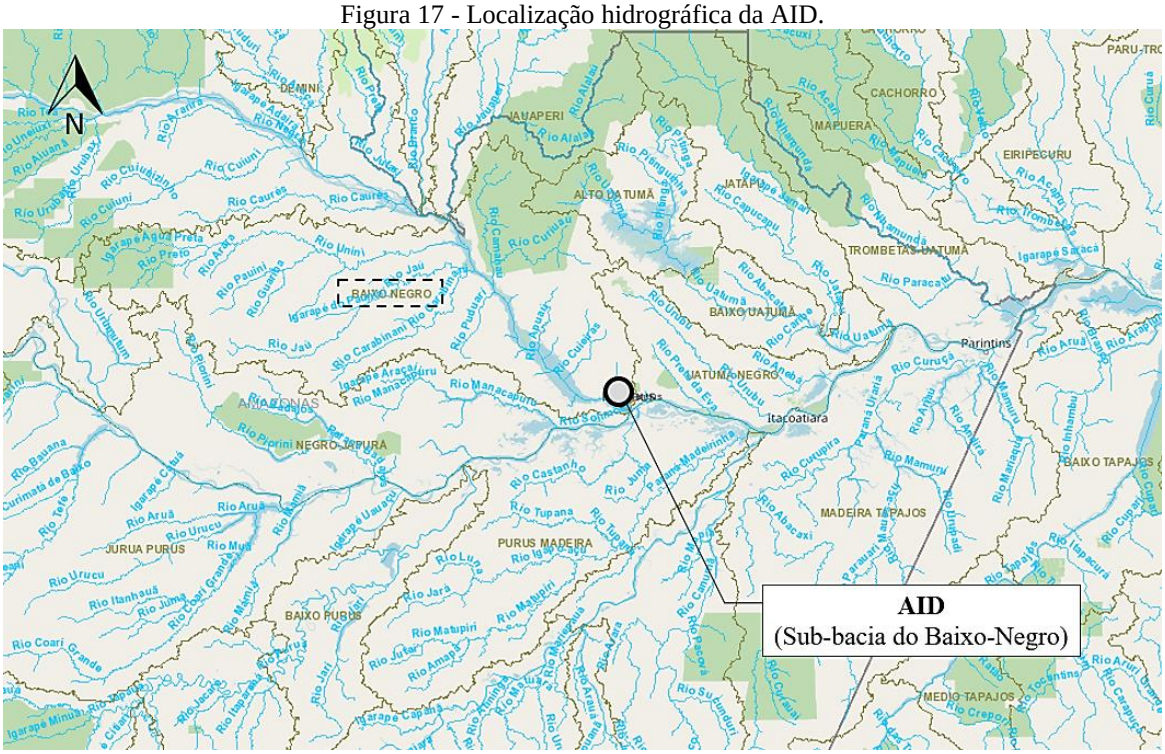
Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

b) Hidrografia

No tocante a localização da região em estudo, sabe-se que esta está inserida no estado do Amazonas o qual pertence à maior bacia hidrográfica do planeta, a Bacia Amazônica. Esta bacia é constituída por um complexo de canais, rios, lagos, ilhas e depressões permanentemente alteradas pela sedimentação e transporte de sólidos em suspensão que influenciam a vegetação terrestre pela constante modificação, remoção e deposição de sedimentos. Os processos fluviais na bacia Amazônica são responsáveis pelas características geomorfológicas nas margens dos rios.

A área de influência direta (AID) encontra-se na bacia do Baixo-Negro, à margem esquerda do rio Negro, na orla da cidade de Manaus/AM. Apresenta-se na Figura 17 a localização da AID a partir do mapa hidrográfico obtido na plataforma do *hidroweb* da Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA).

Figura 17 - Localização hidrográfica da AID.



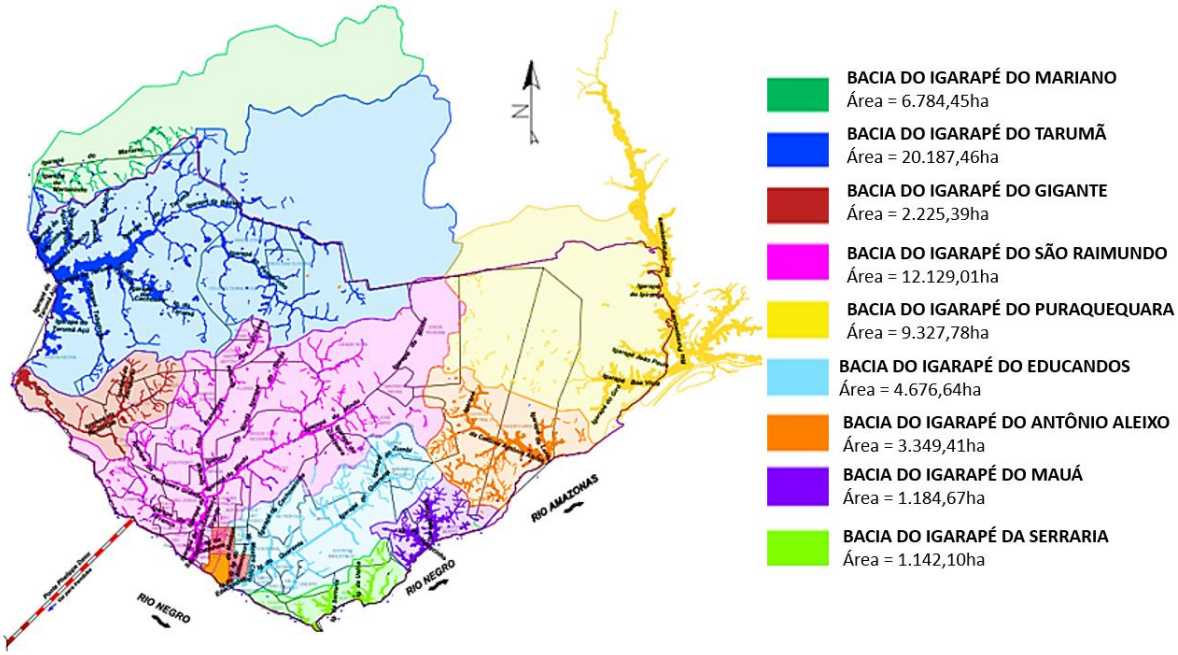
Fonte: Adaptado de Hidroweb-ANA, 2023.

Na cidade de Manaus o regime hidrológico dos igarapés (Apêndice 08) é controlado pelas cheias e vazantes do rio Negro que é o maior afluente da margem esquerda do rio Amazonas, o mais extenso rio de água negra do mundo e o segundo maior em volume d'água. Suas águas apresentam coloração escura, variando do marrom-café até o marrom-oliva. São águas muito ácidas e com alta concentração de material húmico, o que explica a coloração negra e a acidez. Durante a cheia (período chuvoso) o rio transborda e inunda as áreas de várzea.

Predominantemente, a macrodrenagem de Manaus sofre influência de quatro grandes bacias hidrográficas: Tarumã, São Raimundo, Educandos e Puraquequara, conforme esquematizado na figura a seguir. A Tabela 3 a seguir resume os principais corpos hídricos e suas respectivas bacias na cidade de Manaus.

A zona urbana de Manaus é formada por nove bacias hidrográficas conforme apresentado na Figura 18 e listadas na Tabela 3 (Apêndice 05).

Figura 18 - Bacias hidrográficas urbanizadas de Manaus.



Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

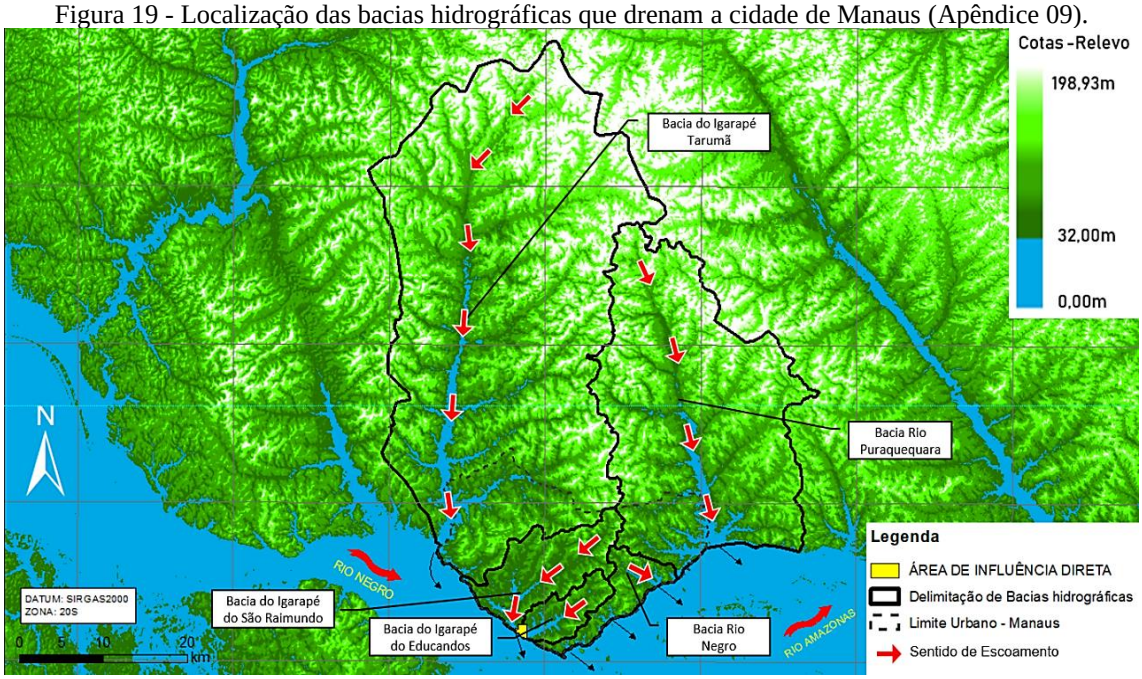
Tabela 3 - Principais corpos hídricos no Município.

BACIA	ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO	CORPO HÍDRICO
Tarumã	169,30 km²	Igarapé do Tarumã
		Igarapé do Rabicho
		Igarapé do Passarinho
		Igarapé Tabatinga
		Igarapé do Gigante
		Igarapé da Redenção
		Igarapé do Aeroporto
São Raimundo	114,80 km²	Igarapé do São Raimundo
		Igarapé do Franco
		Igarapé da Cachoeira Grande
		Igarapé dos Franceses
		Igarapé do Goiabinha
		Igarapé do Mindú
		Igarapé de Manaus
Educandos	44,60 km²	Igarapé Mestre Chico
		Igarapé da Cachoeirinha
		Igarapé do Quarenta
		Igarapé Bittencourt
		Igarapé da Freira
		Igarapé do Zumbi
		Rio Puraquequara
Puraquequara	39,60 km²	Igarapé do Giró
		Igarapé Boa Vista
		Igarapé do Inferno

Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

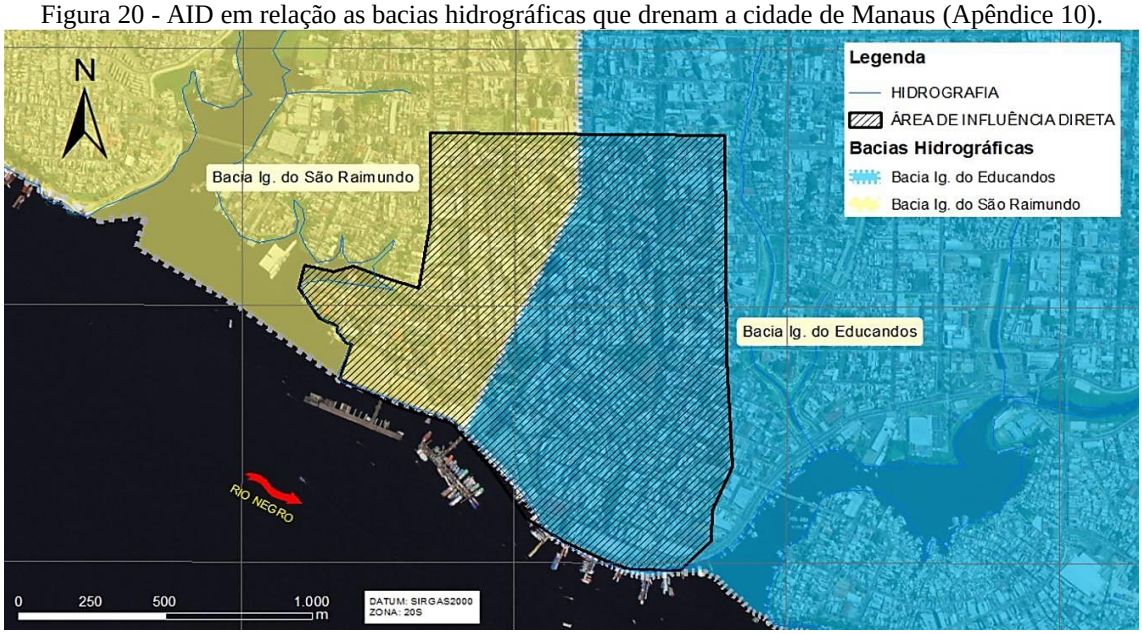
A AID encontra-se identificada em amarelo na Figura 19 , onde observa-se o sentido de escoamento das principais bacias hidrográficas da região urbanizada de Manaus (Apêndice 09). Através da análise do sentido de escoamento, observa-se que a AID se encontra entre os divisores de águas das bacias do Igarapé do São Raimundo e do Educandos (Apêndice 04), conforme representado na Figura 20.

Figura 19 - Localização das bacias hidrográficas que drenam a cidade de Manaus (Apêndice 09).



Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Figura 20 - AID em relação as bacias hidrográficas que drenam a cidade de Manaus (Apêndice 10).



Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

As principais características dos igarapés destas bacias, considerando a extensão média dos principais corpos hídricos estão resumidas na Tabela 4.

Tabela 4 - Principais características dos igarapés nas bacias do São Raimundo e Educandos.

BACIA	CORPO HÍDRICO	EXTENSÃO	SEÇÃO TRANSVERSAL
São Raimundo	Igarapé do São Raimundo	1,9 km	Leito natural ao longo de todo o seu curso, com algumas obras de contenção (gabião, colchão reno e/ou bolsacreto) em pontos isolados, mas que não configuram a formação de um canal artificial.
	Igarapé do Franco	5,5 km	Canalizado desde sua nascente e ao longo da Av. Brasil.
	Igarapé da Cachoeira Grande	5,2 km	Leito natural ao longo de todo o seu curso, com algumas obras de contenção (gabião, colchão reno e/ou bolsacreto) em pontos isolados, mas que não configuram a formação de um canal artificial.
	Igarapé dos Franceses	9,7 km	Leito natural ao longo do seu curso, com algumas obras de contenção (gabião, colchão reno e/ou bolsacreto) em pontos isolados. Trecho canalizado com cerca de 560m de extensão às margens da Av. do Samba
	Igarapé do Bindá	8,2 km	Leito natural ao longo do seu curso, com algumas obras de contenção (gabião, colchão reno e/ou bolsacreto) em pontos isolados. Trecho retificado com aproximadamente 0,7 km dentro de propriedade particular (Universidade Nilton Lins), intervenção do programa PROSAMIM no Parque 10 e margens retificadas no condomínio Eldorado. Sua foz é no igarapé dos Franceses.
	Igarapé do Mindú	17 km	Leito natural ao longo do seu curso, com algumas obras de contenção (gabião, colchão reno e/ou bolsacreto) em pontos isolados. Trecho retificado nas margens do Passeio do Mindú, entre as avenidas Humberto Calderado e Darcy Vargas.
Educandos	Igarapé de Manaus	2,3 km	Galeria de concreto 4,30m de largura por 3,0m de altura em uma extensão de 80 m desde a foz. Seção trapezoidal por cerca de 730m após a galeria anterior. Galeria de concreto 2,50 m x 2,50 m até a Av. Tarumã e em estado natural até sua nascente.
	Igarapé Mestre Chico	2,43 km	Galeria dupla de concreto 3.0 m x 3,0 m desde a foz até a Av. Manaus Moderna (110 m). Seção trapezoidal por cerca de 410 m e novamente galeria dupla 2.5 m x 2.0 m por 380 m até a Rua Ramos Ferreira.
	Igarapé da Cachoeirinha	4,7 km	Trapezoidal variável desde a foz até a Av. Paulo VI (cerca de 3.4 km - fora da área de estudo) e tubulação de concreto deste ponto até sua nascente no bairro Petrópolis.
	Igarapé do Quarenta	12 km	Natural por cerca de 1 km próximo a nascente e trapezoidal revestida em concreto no fundo e concreto e grama nas paredes A base varia de 135 ma 25.0 m e a crista entre 25.0 m a 45.0 m.
	Igarapé Bittencourt	0,87 km	Trapezoidal desde a foz no igarapé Manaus até 420 m a montante e 200 m em galeria de concreto 1.50 m x 1,50 m. Da Av. loixuna até a nascente fui em seu estado natural.

Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Na cidade de Manaus é comum o assentamento de famílias e instalação de indústrias e comércio às margens e/ou nas proximidades de rios e igarapés, como é o caso do igarapé do

Educandos e da margem esquerda do rio negro, o que gera impactos negativos à região, à segurança e à saúde da população em geral.

O regime hidrológico dos igarapés é controlado pelas cheias e vazantes do rio Negro. O padrão de drenagem pode ser classificado como do tipo subdendrítico, mas com formação de segmentos paralelos, treliça, retangular e, eventualmente, radial. O rio Negro, diferentemente do Amazonas, possui poucos meandros. A velocidade corrente da água nas proximidades da cidade de Manaus é de aproximadamente 0,4 m/s, o que corresponde a 1,44 km/h (FILIZOLA, 2009). No Porto de Manaus há um quadro com todos os registros históricos dos níveis máximos do rio Negro (Figura 21). Esses dados vêm sendo registrados há mais de um século.

Figura 21 - Área do Porto de Manaus onde há medição dos níveis d'água do rio Negro.



Fonte: www.g1.com.br, 2022.

De acordo com os dados de cotagrama dos níveis de cheias e vazantes publicado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM em junho de 2021, foi registrada em 16/06/2021 a cheia máxima histórica com 3002 cm (Figura 22) e, em 2010 a vazante máxima histórica com 1363 cm.

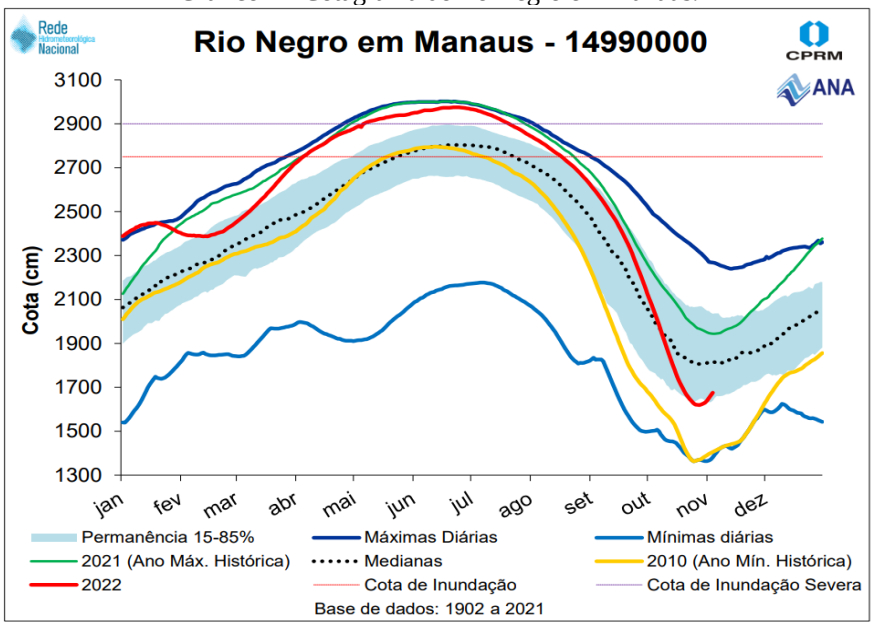
Figura 22 - Nível máximo do rio Negro em 2021 (Apêndice 15).



Fonte: tvabmanaus.blogspot.com, 2021.

No Gráfico 1 é possível observar o cotagrama atualizado do rio Negro, em Manaus/AM, emitido através do boletim de monitoramento hidrometeorológico da Amazônia ocidental, para tanto, são fornecidos dados provenientes da Rede Hidrometeorológica Nacional, operada em parceria entre ANA e CPRM, apresentando-se uma breve comparação entre o comportamento hidrológico atual e o observado ao longo das respectivas séries históricas. Neste contexto, verifica-se em verde a linha da série do ano de 2021 onde ocorreu a cota máxima histórica na respectiva região.

Gráfico 1 - Cotagrama do rio Negro em Manaus.

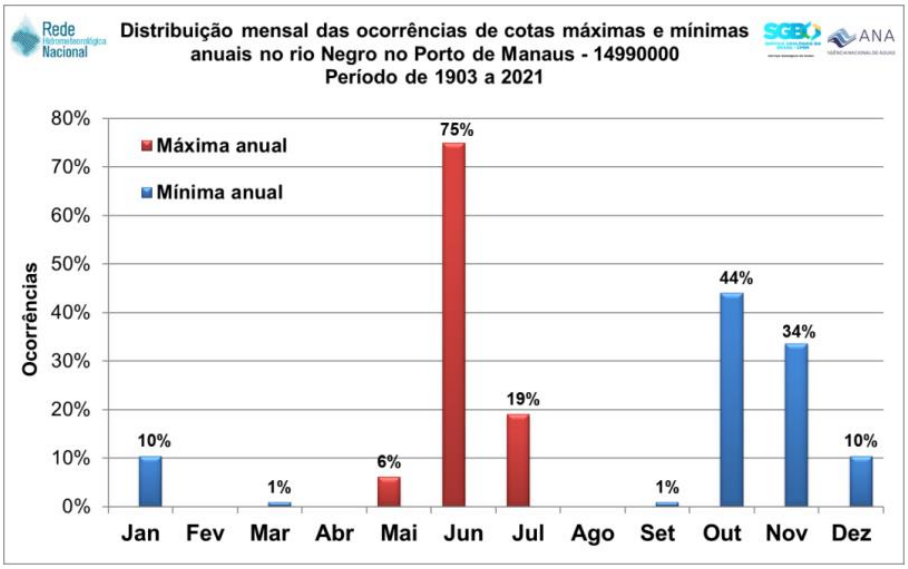


Fonte: CPRM - ANA, 2022.

Ressalta-se que no Gráfico 1, apresentam-se os cotagramas: atual, máximas ou mínimas diárias, medianas e ano de ocorrência de máxima ou mínima das estações. As curvas envoltórias representadas pela faixa azul caracterizam os dados entre 15 e 85% de permanência para os dados diários de cotas. Portanto, significa que se as cotas atuais estiverem fora desta faixa é um momento de atenção, pois podem indicar, para valores acima da faixa, um processo de cheia expressivo e, nos valores inferiores, um processo de vazante acentuado.

Ainda conforme o boletim da CPRM-ANA (2022), o rio Negro em Manaus apresenta um hidrograma estável, em que em 75% dos anos da série histórica a cota máxima ocorre no mês de junho e em 19% no mês julho (Gráfico 2). A partir daí, o rio Negro tende a iniciar seu processo de vazante até que atinja a cota mínima. O fim da vazante, por sua vez, não apresenta um período preferencial, podendo ocorrer entre outubro e janeiro do próximo ano.

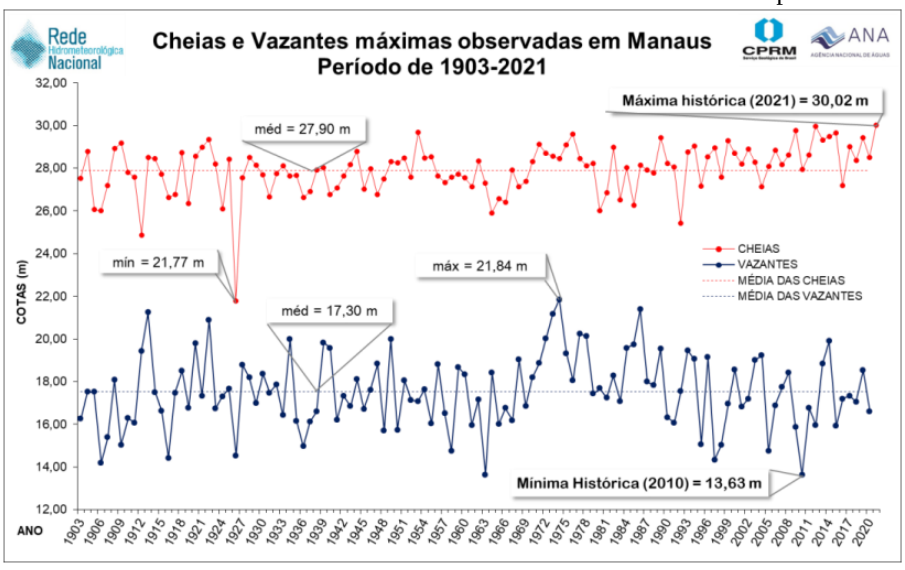
Gráfico 2 - Meses de ocorrência dos eventos de máxima e mínima na estação de Porto de Manaus no período de 1903 a 2021.



Fonte: CPRM - ANA, 2022.

No Gráfico 3 apresenta-se a magnitude dos eventos de máximas e mínimas observados ao longo da série histórica na estação de Porto de Manaus no período de 1903 a 2021 (Estação Fluviométrica 14990000 – “Roadway”).

Gráfico 3 - Dados de cotas máximas e mínimas anuais observadas em Manaus no período 1903 a 2021.



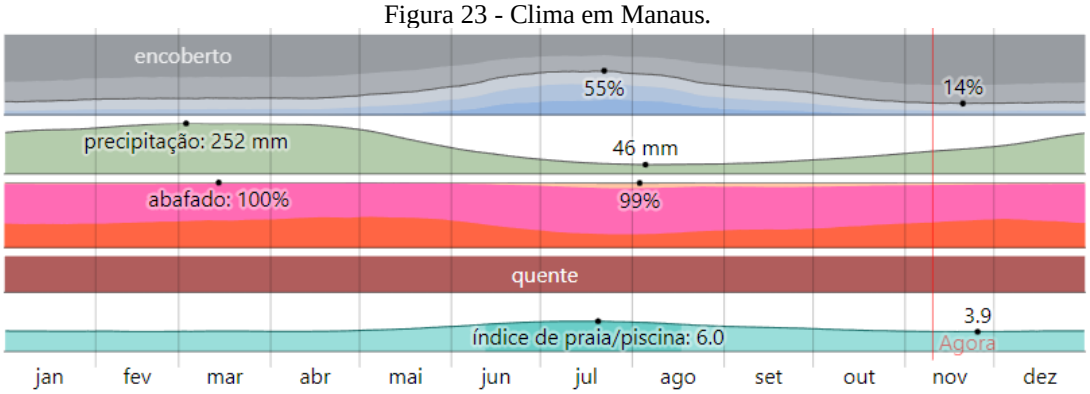
Fonte: CPRM - ANA, 2022.

c) Clima

De acordo com CTPEC/INPE (2022), em Manaus, durante o ano inteiro, o tempo é opressivo e de céu encoberto. Ao longo do ano, em geral a temperatura varia de 24 °C a 33 °C e raramente é inferior a 23 °C ou superior a 36 °C. A estação quente permanece por 2,6 meses, de 13 de agosto a 1 de novembro, com temperatura máxima média diária acima de 33 °C. O mês mais quente do ano em Manaus é setembro, com a máxima de 33 °C e mínima de 25 °C,

em média. A estação fresca permanece por 5,1 meses, de 22 de dezembro a 25 de maio, com temperatura máxima diária em média abaixo de 31 °C. O mês mais frio do ano em Manaus é fevereiro, com a máxima de 24 °C e mínima de 30 °C, em média (Figura 23).

Figura 23 - Clima em Manaus.



Fonte: Weatherspark, 2022.

Em Manaus, a porcentagem média de céu encoberto por nuvens sofre significativa variação sazonal ao longo do ano. A época menos encoberta do ano em Manaus começa por volta de 30 de maio e dura 3,3 meses, terminando em torno de 7 de setembro. O mês menos encoberto do ano em Manaus é julho, durante o qual, em média, o céu está sem nuvens, quase sem nuvens ou parcialmente encoberto 54% do tempo. A época mais encoberta do ano começa por volta de 7 de setembro e dura 8,7 meses, terminando em torno de 30 de maio. O mês mais encoberto do ano em Manaus é novembro, durante o qual, em média, o céu está encoberto ou quase encoberto 85% do tempo (INPE, 2022).

É considerado dia com precipitação aquele com precipitação mínima líquida ou equivalente a líquida de 1 milímetro. A probabilidade de dias com precipitação em Manaus varia acentuadamente ao longo do ano.

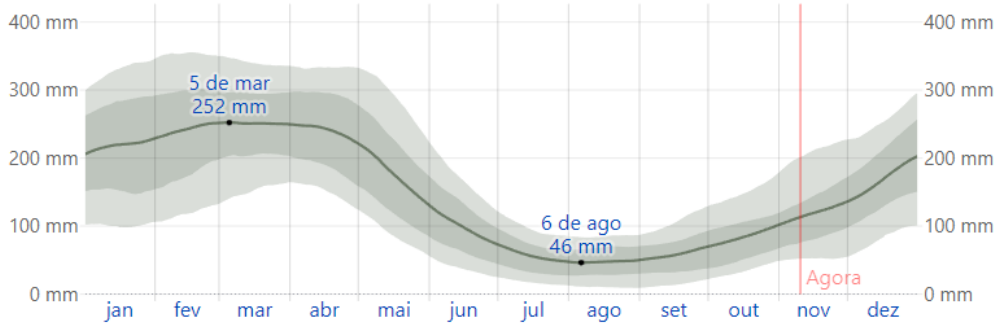
A estação de maior precipitação dura 6,1 meses, de 5 de dezembro a 8 de junho, com probabilidade acima de 55% de que um determinado dia tenha precipitação. O mês com maior número de dias com precipitação em Manaus é março, com média de 24,9 dias com pelo menos 1 milímetro de precipitação.

A estação seca dura 5,9 meses, de 8 de junho a 5 de dezembro. O mês com menor número de dias com precipitação em Manaus é agosto, com média de 9,4 dias com pelo menos 1 milímetro de precipitação. Dentre os dias com precipitação, distinguimos entre os que apresentam somente chuva, somente neve ou uma mistura de ambas. O mês com mais dias só de chuva em Manaus é março, com média de 24,9 dias. Com base nessa classificação, a forma

de precipitação mais comum ao longo do ano é de chuva somente, com probabilidade máxima de 81% em 2 de abril.

Para demonstrar a variação entre os meses e não apenas os totais mensais, mostra-se a precipitação de chuva acumulada durante um período contínuo de 31 dias ao redor de cada dia do ano na Figura 24. Manaus tem variação sazonal extrema na precipitação mensal de chuva. Chove ao longo do ano inteiro em Manaus. O mês mais chuvoso em Manaus é março, com média de 251 milímetros de precipitação de chuva. O mês menos chuvoso em Manaus é agosto, com média de 48 milímetros de precipitação de chuva.

Figura 24 - Chuva Mensal Média em Manaus.



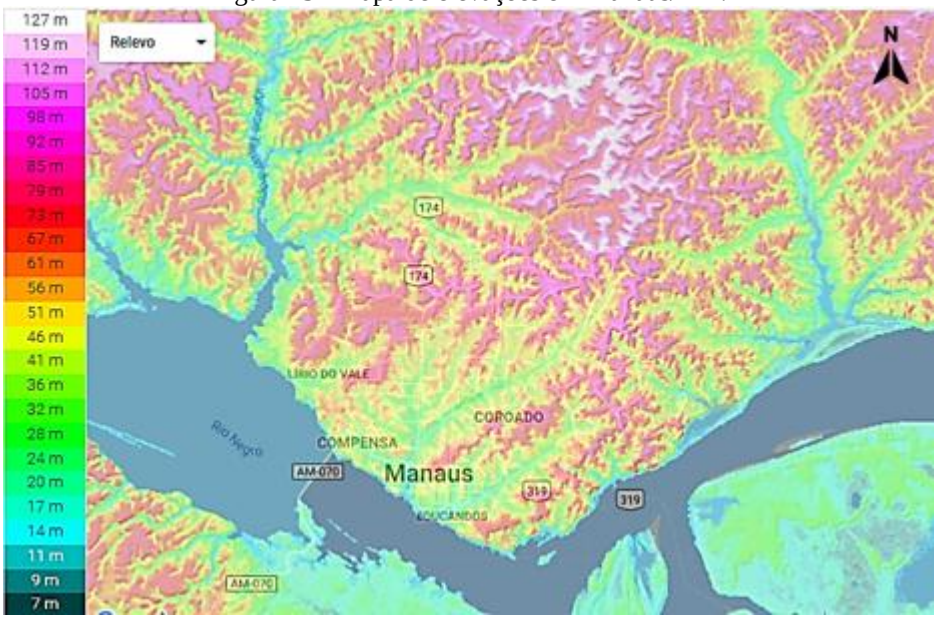
Fonte: Weatherspark, 2022.

Outro fator que afeta diretamente a temperatura na parte oeste meridional da Amazônia são as entradas das massas polares frias vindas da região S/SE do Brasil, que nos meses de inverno no Hemisfério Sul ganha força e penetram atingindo por vezes a Região de Manaus.

d) Topografia

A configuração do relevo da região é uma resposta às mudanças ocorridas na rede de drenagem da região amazônica, possivelmente no Paleógeno (Hoorn et al., 1995; Mapes et al., 2006), que culminou com a elaboração dos conjuntos de divisores topográficos desenvolvidos sobre as rochas sedimentares da Bacia do Amazonas (Figura 25).

Figura 25 - Mapa de elevações em Manaus/AM.



Fonte: Topographic-map.com, 2021.

De acordo com o WeatherSpark (2022), a topografia dentro do perímetro de três quilômetros de Manaus contém apenas variações pequenas de altitude, com mudança máxima de 68 metros e altitude média acima do nível do mar igual a 40 metros. Dentro do perímetro de 16 quilômetros, também há apenas variações pequenas de altitude (133 metros). Dentro do perímetro de 80 quilômetros, há apenas variações pequenas de altitude (170 metros). A área dentro do perímetro de 3 quilômetros de Manaus é coberta por superfícies artificiais (89%); dentro do perímetro de 16 quilômetros, por água (33%) e árvores (25%). Finalmente, dentro do perímetro de 80 quilômetros, por árvores (75%) e água (15%).

Considerando a relação entre a densidade de drenagem e o padrão de distribuição das isolinhas, a região de Manaus passa por um processo de soerguimento. Segundo Jianjun et al. (1997), num estágio intermediário a tardio de um soerguimento, quando a intensidade do soerguimento é menor ou igual à taxa de incisão fluvial, uma nova formação de ravinas associadas à erosão das cabeceiras resulta em uma rede de drenagem densa, com padrão radial e implantação de canais estreitos, dando uma falsa ideia de subsidência tectônica. Os processos de denudação, que atuam no desenvolvimento da paisagem atual, promovem uma progressiva mudança da forma de relevo inicial mediante o gradual rebaixamento de topos dos interflúvios e suavização da inclinação das vertentes por processos de intemperismo, erosão e movimentos gravitacionais de massa (Small,1986), resultando na elaboração do escalonamento topográfico, num processo de dissecação regional da área.

e) Acessos

O município de Manaus é a principal ponte logística no estado do Amazonas, tendo como acessos por via aérea os aeródromos Aeroclube de Manaus, Aeroporto Ponta Pelada (Base Aérea) e o Aeroporto Internacional Eduardo Gomes que conta com dois terminais de passageiros (TPS) e um terminal de cargas (TECA), sendo o TPS 1 dedicado às aeronaves de grande porte e o TPS 2, conhecido como "Eduardinho", destinado à aviação regional e geral (Apêndice 06).

Manaus não possui sistema ferroviário de transporte. As rodovias federais que interceptam o município são as BR 174 e BR 319, e no âmbito estadual as opções são através da AM 010 e AM 070. O município conta com uma rodoviária para atendimento das linhas intermunicipais e interestaduais (Figura 26).

Figura 26 - Acessos Rodoviários em Manaus.



Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Com relação ao transporte fluvial, o qual visa atender não somente as necessidades de suprimento da região, como também a distribuição da produção agrícola e produtos finais para consumo, transporte de passageiros e turismo destaca-se que a integração ocorre por meio do Porto de Manaus "*Roadway"*, Porto da Manaus Moderna, Porto da Ceasa, Marina do Davi e Porto do São Raimundo.

f) População

Conforme exposto anteriormente, a cidade de Manaus localiza-se na região Norte do Brasil, com área de 11.401,092 km², população estimada de 2.255.903,00 (2021) habitantes e densidade demográfica de 158,06 hab./km². Concentra 99,35% dos seus moradores na área urbana, sendo a sétima cidade mais populosa e a sexta cidade mais rica do País. A área urbana

se estende por 377 Km² correspondendo a apenas 3,3% do território do município (IBGE, 2010).

Na Tabela 5 podem ser verificados os resultados dos Censos Demográficos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas – IBGE, realizados nos anos de 1991, 2000, 2010, e 2021 organizados por população urbana, rural e total.

Tabela 5 - Crescimento demográfico de Manaus

Área	**Ano**			
	1991	**2000**	**2010**	**2021**
Urbana	1.006.585,00	1.396.768,00	1.792.881,00	2.240.111,68
Rural	4.916,00	9.067,00	9.133,00	15.791,32
Total	1.013.492,00	1.405.835,00	1.802.014,00	2.255.903,00

Fonte: IBGE, 2021.

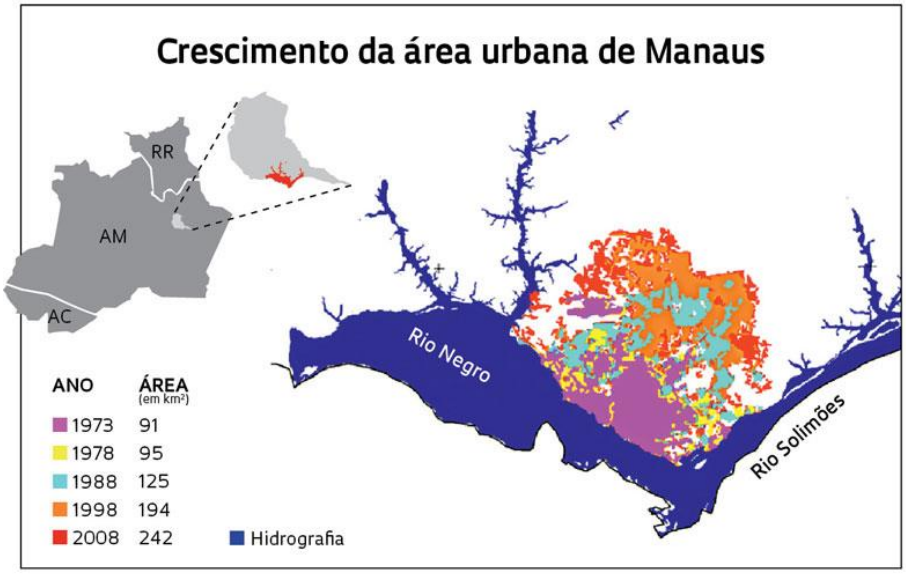
Destaca-se que até meados da década de 1970, os espaços urbanos e aglomerados estavam limitados às zonas administrativas sul, centro-sul, oeste e centro-oeste. A área portuária da cidade era intensamente povoada, com pouca densidade nas regiões norte e leste. A partir daí, houve a ocupação das margens dos vários igarapés da cidade de modo mais intenso (SILVA, 2009).

Após a criação da Zona Franca de Manaus, a cidade recebeu forte migração, advinda principalmente do interior do Estado, Região Nordeste e de outras regiões do país, ocasionando crescimento populacional de mais de 500%, que saltou de 300 mil habitantes na década de 1970 para cerca de 1 milhão e 400 mil, na virada do século XXI, por isso, outras áreas e novos bairros na cidade foram surgindo, sendo alguns destes através de ocupações irregulares (SILVA, 2009).

Ainda, segundo SILVA (2009), o crescimento urbano de Manaus foi o maior da região Norte. Nos últimos dez anos, a cidade transformou-se em um dos municípios mais populosos do Brasil. A intensa urbanização da cidade, muitas vezes de forma desordenada, ao longo das décadas de 1980 e 1990, contribuiu para a perda de aproximadamente 65% de cobertura vegetal, sendo que cerca de 20% foram degradadas em menos de 20 anos, entre 1986 e 2004.

O crescimento urbano na cidade entre os anos 1973 e 2008 pode ser observado a partir do mapa de manchas apresentado na Figura 27.

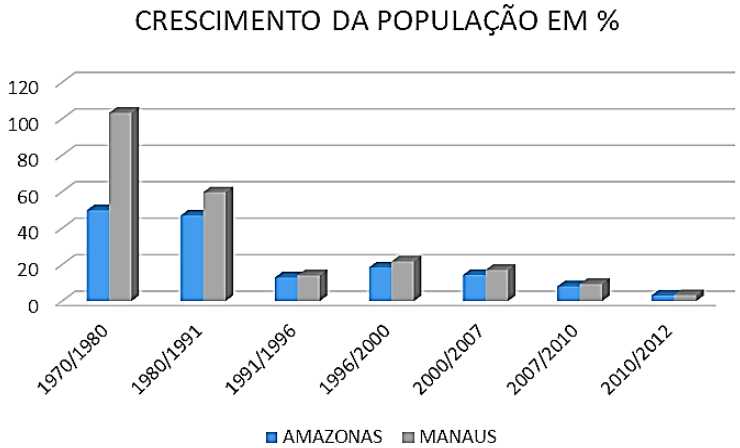
Figura 27 - Crescimento urbano em Manaus.



Fonte: Fapesp, 2013.

A taxa de urbanização para o Município foi de 99,51%, 99,35%, 99,49%, para os anos de 1991, 2000 e 2010 respectivamente. No Gráfico 4 é possível comparar o crescimento populacional percentual do Município e do Estado, demonstrando os altos índices da cidade de Manaus, principalmente no decênio 1970/1980, bem como sua dominância nos demais anos em relação ao Estado do Amazonas.

Gráfico 4 - Comparativo Entre Crescimento Populacional Percentual do Estado e Município.



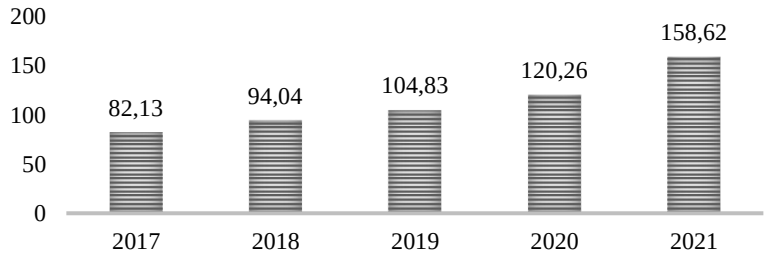
Fonte: Adaptado de IBGE, 2022.

g) Características Urbanas

O desenvolvimento regional da cidade de Manaus fundamenta-se principalmente no PIM - Polo Industrial de Manaus e os Arranjos Produtivos Locais (APL's).

Segundo o Sistema de Informações Governamentais da Amazônia- SIGA, até o ano de 2021, o Polo Industrial de Manaus, atingiu maiores faturamentos em relação aos anos do último triênio. Fato que demonstra a importância do PIM para a cidade de Manaus (Gráfico 5).

Gráfico 5 - Faturamento do Polo Industrial de Manaus (bilhões).



Fonte: Adaptado de SIGA, 2022.

Segundo dados do Plano Diretor do Município (Lei Complementar n.º 002, de 16 de janeiro de 2014), Capítulo VII – Do uso e ocupação do Solo Urbano, Art. 24, a estratégia do Uso e Ocupação do Solo Urbano, tem como objetivo geral ordenar e regulamentar o uso e a ocupação do solo para garantir a qualidade de vida da população, incluindo a reconfiguração da paisagem urbana e a valorização das paisagens não urbanas.

> *"Parágrafo único - São objetivos específicos da Estratégia de Uso e Ocupação do Solo Urbano:*
> *I- Controlar a expansão urbana horizontal da cidade, visando à preservação dos ambientes naturais do Município e à otimização dos serviços e equipamentos urbanos de Manaus; e*
> *II- Instituir, consolidar e revitalizar centros urbanos dinâmicos."*

O processo de expansão urbana da cidade de Manaus alterou drasticamente a estrutura dos igarapés presentes no município (PINTO, 2008). Das nove bacias hidrográficas existentes, pelo menos São Raimundo e Educandos estão com os principais tributários alterados devido às influências antrópicas, seja de origem doméstica ou industrial. Estes, dentre outros fatores como a proximidade da área do centro com o rio Negro traz consequências de enchentes, que invadem as casas dos habitantes da área no entorno do bairro Centro. Este é um fato recorrente, ocorrido em 2009, 2012 e mais evidenciado no ano de 2021, quando ocorreu a cheia recorde no rio negro, fazendo com que as águas invadissem não só casas, mas também comércios daquela região.

De acordo com a Defesa Civil, estima-se que cerca de cem mil famílias sofreram com as cheias de 2021 no Amazonas. Em Manaus, a Prefeitura estima que mais de 8 mil famílias foram prejudicadas em 21 bairros diferentes. As ruas mais atingidas tiveram seu tráfego bloqueado, além de outros problemas causados pela inundação, registrada como a maior dos últimos 120 anos (Figura 28). Para minimizar os problemas causados aos moradores das áreas atingidas, desenvolveu-se uma série de ações a nível municipal, estadual e federal.

Figura 28 - Vista da cheia ocorrida em 2021 na rua Marquês de Santa Cruz interditada.



Fonte: Estadão Conteúdo, 2021.

Na ocasião, para fazer frente aos problemas com a enchente, a Prefeitura de Manaus realizou, um trabalho integrado envolvendo a Defesa Civil as secretarias municipais de Saúde (SEMSA), Assistência Social e Direitos Humanos (SEMASDH), Limpeza e Serviços Públicos (SEMULSP), Empreendedorismo e Abastecimento (SEMPAB), Guarda Municipal, Secretaria Municipal de Infraestrutura (SEMINF) e a Secretaria de Estado de Infraestrutura (SEINFRA).

O trabalho foi direcionado à retirada das famílias atingidas, cadastramento para o aluguel social e cestas básicas, atendimento à saúde e construção de 13.000m de pontes. Mais de 1.700 famílias foram cadastradas e mais 800 famílias estavam na fila para receber o aluguel social.

h) Perfil Socioeconômico

- IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal

O conceito de Desenvolvimento Humano considera que para medir o avanço na qualidade de vida de uma população é preciso considerar além do lado econômico, características sociais culturais e políticas que influenciam a qualidade da vida humana (PNUD, 2013).

Por isso o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal compreende indicadores de três dimensões do desenvolvimento humano, sendo a longevidade, educação e renda.

O índice varia de 0 a 1. A classificação do IDH-M considera como:

- Baixo desenvolvimento humano o intervalo entre 0,0 e 0,5;
- Médio desenvolvimento humano o intervalo entre 0,5 e 0,8; e
- Alto desenvolvimento humano o intervalo entre 0,8 e 1,0.

Quanto mais próximo de 1 maior o desenvolvimento humano. Conforme pode-se observar na Tabela 6, os índices para o município de Manaus tiveram em sua grande maioria, grande crescimento ao longo dos anos, mostrando assim a evolução do Município nos indicadores abordados pelo IDH-M. Ressalta-se a ausência de dados para o ano de 2021 tendo em vista a data do último censo nacional realizado (2010).

Tabela 6 - IDHM Manaus.

Anos	**IDHM MANAUS**			
	IDHM	**RENDA**	**LONGEVIDADE**	**EDUCAÇÃO**
1991	0,521	0,676	0,681	0,307
2000	0,601	0,674	0,727	0,443
2010	0,737	0,738	0,826	0,658

Fonte: Atlas Brasil, 2013.

- Renda

A área de estudo é composta por comércio e residências. Com tendências perceptíveis de evolução comercial devido a fatores diversos e à própria área que já é utilizada para tal. Através do SIDRA foram coletados o histograma bem como dados atuais sobre a renda familiar dos moradores da área de estudo.

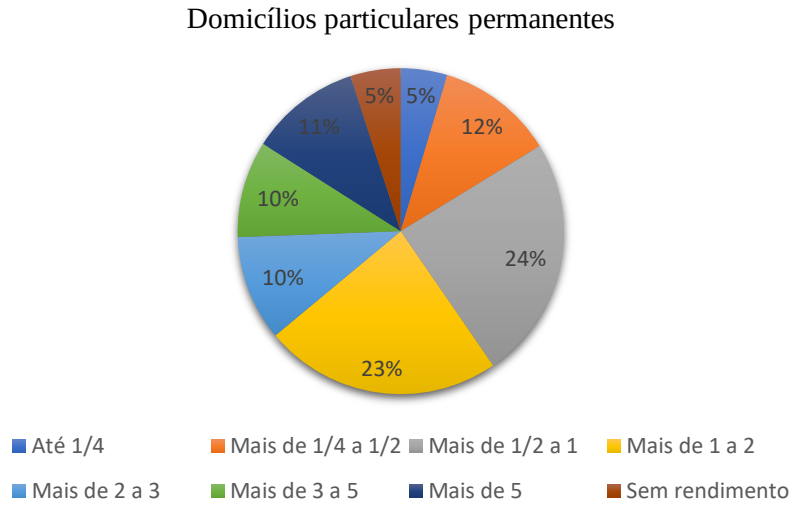
A Tabela 7 e o Gráfico 6, demonstram a classe de rendimento nominal mensal domiciliar em salário mínimo, dos domicílios pertencentes ao bairro Centro, que em sua totalidade abriga 9.540 domicílios.

Tabela 7 - Classe de rendimentos dos domicílios do Bairro Centro.

Classe de rendimento nominal mensal domiciliar (salário mínimo)	Domicílios particulares permanentes	Classe de rendimento nominal mensal domiciliar per capita (salário mínimo)	Domicílios particulares permanentes
Até 1/2	55	Até 1/4	440
Mais de 1/2 a 1	882	Mais de 1/4 a 1/2	1.110
Mais de 1 a 2	1.573	Mais de 1/2 a 1	2.305
Mais de 2 a 5	2.986	Mais de 1 a 2	2.245
Mais de 5 a 10	1.911	Mais de 2 a 3	999
Mais de 10 a 20	1.118	Mais de 3 a 5	914
Mais de 20	539	Mais de 5	1.051
Sem rendimento	475	Sem rendimento	475

Fonte: Adaptado de SIDRA, 2022.

Gráfico 6 - Domicílios particulares permanentes, por classe de rendimento nominal mensal domiciliar per capita (salário mínimo).



Fonte: Adaptado de SIDRA, 2022.

i) Aspectos socioambientais

- Tipo de domicílio

Predominam casas de alvenaria de estilos diversos do século XVIII na AID. Pela legislação atual (Plano Diretor de Manaus de 16 de janeiro de 2014 conforme a Lei 1.838 de 16 de janeiro de 2014 – Lei de uso e ocupação do solo, anexo XI), parte das casas localizadas nessa área apresenta irregularidade urbanística. É caso das moradias que não possuem a distância mínima exigida de uma para a outra, parâmetro que varia conforme a quantidade de pisos da edificação e sua localização nos diferentes setores do município.

- Situação e morfologia

Encontra-se em áreas adequadas à urbanização e abrange o centro antigo comercial, que se encontra em processo de revitalização, com suas edificações em áreas planas (Apêndices 12 e 13).

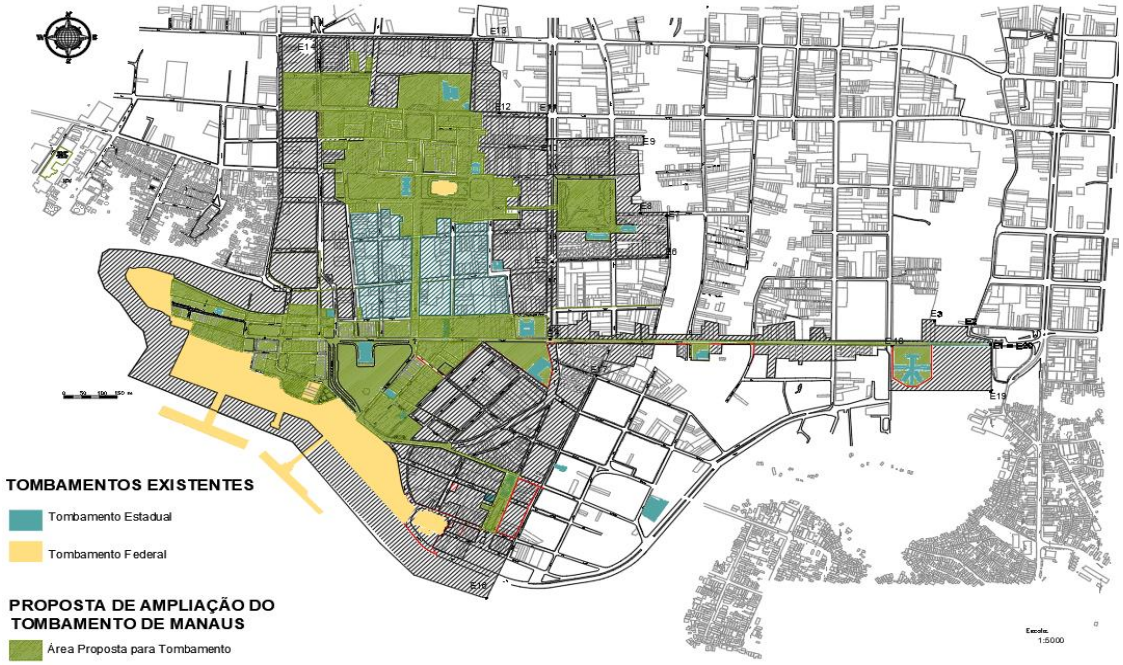
- Patrimônio Histórico

Na região de estudo, encontram-se as seguintes edificações catalogadas como patrimônios históricos: Teatro Amazonas, Mercado Adolpho Lisboa, Conjunto Arquitetônico do Porto, Academia Amazonense de Letras, Agência do Banco Itaú, Agência Central dos Correios e Telégrafos, Biblioteca Pública de Manaus.

De forma geral, na área do estudo encontra-se uma grande parte histórica. Na Figura 29 o mapa demonstra as áreas compostas por tombamentos existentes no nível federal: Porto Organizado de Manaus, Ilha de São Vicente, Relógio da Matriz, Mercado Municipal Adolpho Lisboa e Teatro Amazonas; no nível Estadual: Palácio Rio Negro, Palácio da Justiça, Santa

Casa de Misericórdia, Museu Paço da Liberdade, Antigo Hotel Amazonas, Praça Adalberto Vale, Agência dos Correios e Telégrafos, Palacete Provincial, Praça Dom Pedro II, Praça 9 de Novembro, Teatro da Instalação, Catedral Nossa Senhora da Conceição, Edifício dos Correios, Relógio Municipal, Biblioteca Municipal, Praça Tenreiro Aranha, Faculdade de Direito do Amazonas, Igreja Nossa Senhora dos Remédios, Escola Estadual Nilo Peçanha, Escola Estadual Saldanha Marinho, Colégio Amazonense Pedro II, Tribunal de Contas da União, Hospital Beneficente Portuguesa, Academia Amazonense de Letras, Igreja de São Sebastião e área proposta para tombamento (Apêndice 02).

Figura 29 - Tombamentos existentes e propostos na região de estudo.



Fonte: Adaptado de IPHAN publicado no DOU n.º 222, 2022.

- Demografia

No período 1991-2000, a população da unidade espacial teve uma taxa média de crescimento anual de - 2,07, passando de 19.493 em 1991 para 16.177 em 2000. Sendo constatada uma redução de 3.316 pessoas. Em 2000, a população da unidade espacial representava 1,15% da população do município de Manaus (Tabela 8).

Tabela 8 - População e Estrutura Etária

POPULAÇÃO	**1991**	**2000**
Menos de 15 anos	4.764,00	3.449,00
15 a 64 anos	13.291,00	11.043,00
65 anos e mais	1.438,00	1.685,00
Razão de Dependência	46,70%	46,60%
Total	**19.493,00**	**16.177,00**

Fonte: Adaptado de SIDRA, 2022.

No período 1991-2000, a taxa de mortalidade infantil da unidade espacial diminuiu 46,29%, passando de 26,30 (por mil nascidos vivos) em 1991 para 14,13 em 2000, e a esperança de vida ao nascer cresceu 3,44 anos, passando de 70,56 anos em 1991 para 74,00 anos em 2000 (Tabela 9).

Tabela 9 - Indicadores de Longevidade, Mortalidade e Fecundidade

INDICADOR	1991	2000
Mortalidade até 1 ano de idade (por 1000 nascidos vivos)	26,30	14,10
Mortalidade até 5 anos de idade (por 1000 nascidos vivos)	41,50	22,80
Esperança de vida ao nascer (anos)	70,60	74,00
Taxa de Fecundidade Total (filhos por mulher)	2,10	1,90

Fonte: Adaptado de SIDRA, 2022.

- Educação

Conforme dados do Censo 2010, descritos nas Tabelas 10, 11 e 12, a taxa de alfabetização das pessoas de 10 anos ou mais de idade no bairro Centro é de 98,2%, o que corresponde a 28.303 pessoas 13.079 homens e 15.224 mulheres.

Tabela 10 - Taxas de Alfabetização.

Resultados do Universo do Censo Demográfico 2010										
Pessoas de 10 anos ou mais de idade, total e alfabetizadas, e taxa de alfabetização das pessoas de 10 anos ou mais de idade, por sexo e os bairros - Amazonas – 2010 – Sendo H (homens) e M (Mulheres).										
Localidade	Pessoas de 10 anos ou mais de idade, por sexo						Taxa de alfabetização das pessoas de 10 anos ou mais de idade, por sexo			Código da Unidade Geográfica
	Total	H	M	Alfabetizadas						
				Total	H	M	Total	H	M	
Manaus	1.473.583	712.572	761.011	1.417.941	685.117	732.824	96	96	96	1302603
Centro	28.828	13.333	15.495	28.303	13.079	15.224	98	98	98	1302603001

Fonte: Adaptado de SIDRA, 2022.

Tabela 11 - Nível educacional da população jovem.

Faixa etária	Taxa de analfabetismo		% com menos de 4 com menos anos de estudo		% com menos de 8 com menos anos de estudo		% frequentando a escola	
(anos)	**1991**	**2000**	**1991**	**2000**	**1991**	**2000**	**1991**	**2000**
7 a 14	0	0	0	0	0	0	84,8	96,1
10 a 14	3,6	2,5	45,1	37,5	0	0	84,5	95,8
15 a 17	2	0	11,1	3	63,4	42,8	81,5	84
18 a 24	1,7	1	8,5	4,9	32,2	32,2	0	0

Fonte: Adaptado de SIDRA, 2022.

Tabela 12 - Nível educacional da população adulta (25 anos ou mais)

INDICADOR	1991	2000
Taxa de analfabetismo	3,0	2,7
% com menos de 4 anos de estudo	13,2	10,3
% com menos de 8 anos de estudo	30,9	26,6
Média de anos de estudo	8,8	9,7

Fonte: Adaptado de SIDRA, 2022.

j) Condições Sanitárias na AID

Conforme a Lei Orgânica do Município de Manaus, Cap. VI da Política Econômica (LOMAN, 2013):

> *"Art. 386. O Município promoverá o seu desenvolvimento social e econômico, agindo de modo que as atividades econômicas realizadas em seu território contribuam, prioritariamente, para elevar o nível de vida e o bem-estar da população local, bem como para valorizar o trabalho humano.*
>
> *Parágrafo único. Para a consecução do objetivo mencionado neste artigo, o Município atuará de forma exclusiva ou em articulação com a União, com o Estado, com os Municípios e, se necessário, com países, com especialidade, aqueles integrantes da Região Amazônica."*

Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário: os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário da cidade de Manaus são realizados pela concessionária AEGEA – Águas de Manaus.

A cidade de Manaus é abastecida de água a partir de três sistemas:

I. Sistema isolado, com produção e tratamento de água provenientes de lençóis subterrâneos, provendo redes de abastecimento independentes;
II. Sistema principal com produção e tratamento de água do rio negro em três estações, sendo o Complexo de Produção da Ponta do Ismael contando com Estação de Tratamento de Água I (ETA I) e Estação de Tratamento de Água II (ETA II) e Mauazinho; e
III. Sistema misto em áreas atendidas pelo Sistema Principal, cuja vazão é complementada através de poços artesianos.

No que diz respeito ao controle de qualidade da água de abastecimento em Manaus, a responsabilidade é do Instituto de Proteção Ambiental do Estado do Amazonas (IPAAM) e da Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMMAS).

Verifica-se que a fonte principal de abastecimento de água é o rio Negro, cujas águas após tratamento abastecem a maior parte dos domicílios da área, seguida pelo abastecimento via ligação não oficial, abastecendo através de cacimba e poço, tendo localizações em situação tão precária que não contam com nenhum tipo de abastecimento de água. Assim, quando da suspensão do serviço, estas populações ficam privadas de água. Em algumas casas o tipo de

armazenamento é bastante inadequado, o que, certamente, responde por um número significativo de doenças.

A situação de esgotamento sanitário em Manaus é precária. Estima-se que somente 3% dos domicílios estão ligados à rede coletora e nas localidades que não contam com este serviço, os despejos são destinados às fossas, ruas e igarapés.

A rede de esgoto da cidade de Manaus tem ao todo aproximadamente 361 km, sendo que 141,20 km correspondem a 39% do total, cobrindo os bairros de Educandos, Centro e Distrito Industrial. Nove estações elevatórias, duas no centro da cidade e sete no bairro do Educandos contribuem para direcionar os esgotos para a Estação de Tratamento de Esgotos do Educandos, onde são lançados no rio Negro através de um emissário subfluvial.

O Distrito Industrial dispõe de sistema de esgotamento próprio, constituído por rede coletora, três elevatórias, linha de recalque e coletor-tronco, porém este sistema não está em funcionamento. Supostamente, os dejetos seriam tratados e lançados no rio Negro, contudo, em razão das condições atuais do sistema, muitas indústrias estão lançam esgotos nas redes de drenagem e nos cursos d'água, principalmente no Igarapé do Quarenta.

Segundo dados do atlas Brasil 2013, 6,45% de pessoas em Manaus moram em domicílios com abastecimento de água e esgotamento sanitário inadequado.

A Tabela 13 mostra dados dos domicílios da cidade de Manaus e do bairro Centro, área de estudo do projeto.

Tabela 13 - Dados do esgotamento sanitário na cidade de Manaus/AM.

LOCALIDADE	DOMICÍLIOS PARTICULARES PERMANENTES						CÓDIGO DA UNIDADE GEOGRÁFICA
	TOTAL	EXISTÊNCIA DE BANHEIRO OU SANITÁRIO					
		TOTAL	TIPO DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO			NÃO TINHAM	
			REDE GERAL DE ESGOTO OU PLUVIAL	FOSSA SÉPTICA	OUTRO		
Manaus	460.844	457.154	188.550	103.343	165.261	3 690	1302603
Centro	9.540	9.531	6.975	867	1.689	9	1302603001

Fonte: Adaptado de Atlas Brasil, 2022.

Em Manaus há um investimento intenso, por meio de campanhas educacionais, na área de limpeza urbana. Devido ao fato de a cidade ser cortada por vários igarapés, onde ocorre o assentamento irregular de pessoas que acabam gerando acúmulo de resíduos sólidos, aumenta-se o risco de alagações e problemas ambientais e de saúde pública.

Na capital, a limpeza pública é administrada pela prefeitura, mas terceirizada em parte dos serviços, como a coleta de lixo e o aterro sanitário, cuja operação é de responsabilidade das empresas MARQUISE e TUMPEX.

No dia 26/07/2021 foi realizada uma visita técnica na área, para aprimoramento do estudo, com o intuito de compor um registro da formação e condições econômicas e sociais dos locais envolvidos. Bem como contextualizar a dinâmica populacional.

Para os dados relacionados a doenças de veiculação hídrica, foram utilizadas informações da Secretaria de Vigilância Sanitária-SVS.

A influência dos rios e igarapés na região proporciona em Manaus uma dinâmica favorável à transmissão de doenças. As enchentes aumentam os riscos de incidência aguda de eventos de saúde relacionados a doenças de veiculação hídrica, demandando do sistema medidas imediatas.

As ruas do centro antigo (AID) inundam a cada ciclo de enchente do rio Negro, o que obriga a construção de pontes e passarelas de modo a garantir o acesso da população às edificações afetadas. Consequentemente, concorrem outros inconvenientes como o mau cheiro, proliferação de doenças, acúmulo de lixo, entre outros. Relativo a área do entorno, sofre com a intensificação do tráfego de veículos devido a redução da malha viária em decorrência das áreas alagadas.

O trecho que circunda o Mercado Municipal Adolpho Lisboa (Rua dos Barés, Avenida Lourenço da Silva Braga, Travessa Tabelião Lessa e Rua Barão de São Domingos) e nas proximidades da Praça XV de Novembro (Rua Marquês de Santa Cruz, Avenida Eduardo Ribeiro e Avenida Floriano Peixoto), conforme ilustrado nas Figuras 25, 26 e 27 são as áreas frequentemente inundadas com a cheia do rio negro, ou seja, em todos os anos têm sua dinâmica alterada em virtude da subida das águas.

Figura 30 - Travessa Tabelião Lessa em período de seca (A) e cheia(B) do rio Negro.



Fonte: www.onortao.com.br, 2022.

Figura 31 - Prédio da Alfândega de Manaus em período de seca (A) e cheia(B) do rio Negro.



Fonte: www.onortao.com.br, 2022.

Figura 32 - Av. Eduardo Ribeiro, localização do Relógio Municipal e Praça XV de Novembro em período de seca (A) e cheia(B) do rio Negro.



Fonte: www.onortao.com.br, 2022.

A AID encontra-se em uma área predominantemente comercial, e devido ao comportamento cíclico do rio, a prefeitura municipal vem operacionalizando os chamados "Plano de Ação Emergencial de limpeza em áreas diretamente afetadas pela enchente do rio Negro na cidade de Manaus", ação em conjunto com o governo do Estado que tem como principais frentes de serviço:

- A remoção de resíduos sólidos dos igarapés, com auxílio de balsas, escavadeiras, pás mecânicas, caminhões basculantes e agentes de limpeza;
- Construção de passarelas, pontes e marombas a fim de preservar o acesso da população aos estabelecimentos comerciais, conforme ilustrado na Figura 33.

Figura 33 - Pontes e marombas construídas pela Prefeitura.



Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

5.2 DADOS

5.2.1. Dados Pluviométricos

Os dados pluviométricos utilizados nesse estudo foram obtidos por meio da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), nos postos pluviométricos mais próximos a AID, disponíveis na plataforma digital Sistema de Informações Hidrológicas – HidroWeb, da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) com dados recentes e representativos, no mínimo, de 20 anos para análise estatística e contemplar do período da última cheia ocorrida em 2021 na região (Apêndice 16). Para o processamento dos dados pluviométricos, foi utilizado o software SisCAH 1.0.3. (2018) e o Microsoft Excel (2019), usando uma máquina com processador Intel Core i7 e 64,00 GB de memória RAM.

5.2.1 Dados Linimétricos

Os dados de nível de água do rio Negro utilizados neste estudo foram obtidos por meio da RHN, disponíveis na plataforma digital Hidroweb, da ANA, através da estação linimétrica Manaus (14990000), no período de 2001 a 2021 (Apêndice 17).Para o processamento dos dados linimétricos do presente trabalho, utilizou-se o software Microsoft Excel (2019), usando uma máquina com processador Intel Core i7 e 32,00 GB de memória RAM.

5.2.2. Dispositivos de drenagem existentes na AID.

Foi realizado um levantamento em campo com registro fotográfico dos diversos dispositivos de drenagem superficial e profunda existentes na AID, onde foram cadastrados os estados de uso e conservação dos dispositivos e elencadas as soluções propostas para cada elemento existente.

5.2.3. Modelo Digital de Terreno MDT da AID

Tendo em vista a dimensão da área de estudo e a necessidade do levantamento de curvas de níveis com menor erro possível, optou-se pelo levantamento do modelo digital de terreno da AID a partir da fotogrametria, com o uso de drone (modelo DJI MAVIC 2 PRO). O voo foi planejado no software Drone Deploy, a 120 metros de altura e com 75% de sobreposição lateral e longitudinal. As imagens capturadas pelo equipamento foram processadas no software Agisoft Metashape (2021), usando uma máquina com processador Intel Core i7 e 64,00 GB de memória RAM.

5.3. MÉTODOS

5.3.1. Análise Pluviométrica

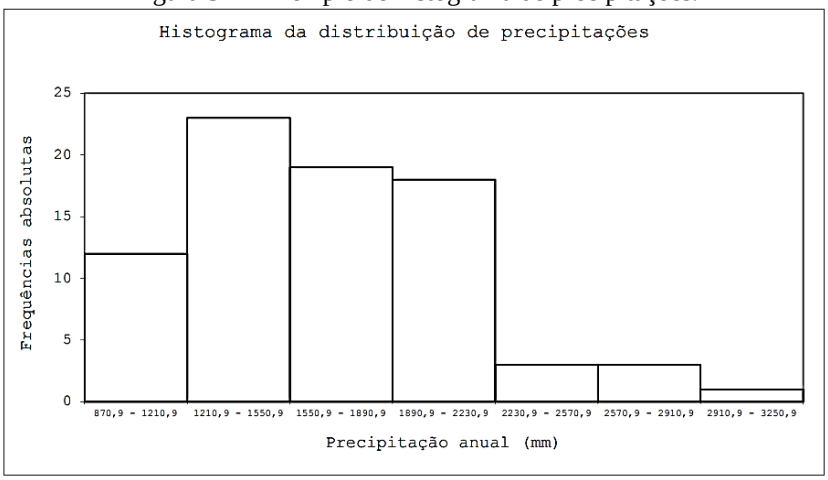
A utilização de dados pluviométricos é inerente ao estudo de chuvas intensas que tem por finalidade estabelecer as equações intensidade-duração-frequência das precipitações de determinada região.

A análise pluviométrica foi elaborada conforme as premissas do Manual de Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários – Instruções para acompanhamento e análise do DNIT (2010), o qual especifica que, deve-se realizar, em fase de estudos hidrológicos de determinado projeto de drenagem urbana, a análise pluviométrica com dados de série histórica da respectiva região, a partir da apresentação dos seguintes elementos:

- Média anual de chuvas da região;
- Média mensal;
- Número de dias de chuva por mês;
- Total anual;
- Alturas máximas e mínimas;
- Registro de chuvas e respectivos pluviogramas;
- Precipitação total;
- Indicação do trimestre mais chuvoso e mais seco;
- Precipitação máxima em 24 horas.

Por conseguinte, os dados brutos das precipitações diárias foram obtidos no sistema HidroWeb da ANA e submetidos a uma análise de consistência através do software SisCAH 1.0 do Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH) da Universidade Federal de Viçosa, de forma a identificar possíveis desvios nas respectivas séries e o grau de confiabilidade dos dados brutos registrados. A partir destes dados, foram formuladas as séries de precipitações para o período com disponibilidade de dados e respectivo histograma, que é uma sucessão de retângulos adjacentes, tendo cada um deles por base um segmento que corresponde à amplitude de cada classe e por altura as respectivas frequências absolutas ou relativas (Figura 34).

Figura 34 – Exemplo de histograma de precipitações.



Fonte: Guimarães, 2011.

Aspectos fundamentais para a caracterização das distribuições de frequência são a localização, dispersão e assimetria. Realizou-se a distinção entre as grandezas avaliadas a partir das grandezas calculadas com base na amostra de dados de precipitações.

Para os totais (anuais / mensais) foi realizada a soma da série de dados obtida para o período analisado, além destas, foram obtidas as médias, mínimas e máximas precipitações do respectivo recorte temporal, conforme:

a) Média:

O mais importante parâmetro de localização é a média ou valor médio e representa o cento de gravidade do sistema. A média de uma amostra constituída por $x_1, x_2,..., x_n$, designa-se por $\bar{x}$ e para dados não classificados, define-se através da Equação 1:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \qquad \text{(Equação 1)}$$

Onde:

$\bar{x}$ = média;

$\sum_{i=1}^{n} x_i$ = soma de todos os dados da série de amostras;

n = número de amostras.

b) Desvio Padrão:

A dispersão pode definir-se como a posição dos dados em relação a uma referência fixa. Quando esta referência é a média, a dispersão indica o modo como os dados se espalham à volta do valor médio.

O desvio padrão da amostra constituída por $x_1, x_2,..., x_n$, designa-se por *S* e define-se conforme a Equação 2:

$$S = +\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n}}$$ (Equação 2)

O quadrado do desvio padrão, chama-se variância, S^2, e dá-se através da Equação 3:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$ (Equação 3)

c) Coeficiente de variação

É um parâmetro adimensional que mede a variabilidade da amostra e define-se através da Equação 4:

$$C_v = \frac{S}{\bar{x}}\ x\ 100\%$$ (Equação 4)

onde:

S= desvio padrão da série amostral;

$\bar{x}$ = média da série amostral;

Portanto, quanto maior o coeficiente de variação, maior é o desvio padrão em relação à média, isto é, mais dispersos estão os dados em torno da média.

- Precipitações Totais Anuais

Para o posto pluviométrico adotado, foi elaborada uma série de precipitações totais anuais do recorte temporal determinado. Portanto, somaram-se todos os dados de precipitação ocorridos durante o período de um ano, conforme a Equação 5:

$$\sum_{i=m}^{n} x_i = x_m + x_{m+1} + x_{m+2} + \cdots + x_{n-1} + x_n.$$ (Equação 5)

onde:

$\sum_{i=m}^{n} x_i$ = somatório da série no recorte temporal de um ano.

$m =$ limite inferior do somatório;

$n =$ limite superior do somatório;

Os resultados obtidos serão apresentados no item 6.1 (b) e apresentados em tabela com respectivo histograma de totais anuais.

- Precipitações Máximas Anuais

Para o posto pluviométrico adotado, foi elaborada uma série de precipitações máximas anuais e foram determinadas a média, o desvio-padrão e o coeficiente de variação dos dados brutos observados, apresentados em tabela.

- Precipitações Mensais Mínimas

Para o posto pluviométrico adotado, elaborou-se uma série de precipitações mensais mínimas dos dados brutos observados e respectivo histograma.

- Precipitações Mensais Média

Para o posto pluviométrico adotado, foi elaborada uma série de precipitações mensais médias dos dados brutos observados e respectivo histograma.

- Precipitações Mensais Máximas

Para o posto pluviométrico adotado, elaborou-se uma série de precipitações mensais máximas dos dados brutos observados e respectivo histograma.

- Número de dias de chuva mínimos

Para o posto pluviométrico adotado, foi elaborada uma tabela com o número de dias de chuva mínimos para cada mês, dos dados brutos observados e respectivo histograma.

- Número de dias de chuva médios

Para o posto pluviométrico adotado, elaborou-se uma tabela com o número de dias de chuva médios para cada mês, dos dados brutos observados e respectivo histograma.

- Número de dias de chuva máximos

Para o posto pluviométrico adotado, foi elaborada uma tabela com o número de dias de chuva máximos para cada mês, dos dados brutos observados e respectivo histograma.

- Valores máximos prováveis de precipitação

Em Hidrologia, as distribuições de probabilidades são escolhidas em função do tipo de amostra que se dispõe, isto é, chuvas intensas, vazões máximas, vazões mínimas, entre outros. Dentre as distribuições de probabilidade normalmente utilizadas para eventos extremos no caso chuvas máximas, foi adotada a Distribuição de Gumbel, também conhecida como Extrema Tipo I, considerada uma das mais indicadas para este caso e expressa pela Equação 6:

$$P(X \geq x) = 1 - e^{-e^{-y}} = \frac{1}{T} \quad \text{(Equação 6)}$$

Onde:

P: probabilidade de um valor extremo X ser maior ou igual a um dado valor x;

T: período de retorno;

y: variável reduzida Gumbel.

Aplicando ln (“log natural”) em ambos os termos, chega-se à seguinte Equação 7:

$$y = -ln\left[-ln\left(\frac{T-1}{T}\right)\right] \quad \text{(Equação 7)}$$

Como y depende de período de retorno T, chega-se à Equação 8:

$$y_t = -ln\left[-ln\left(\frac{T-1}{T}\right)\right] \quad \text{(Equação 8)}$$

A relação entre Y_t e X_t é dada pela Equação 9:

$$y_t = \frac{X_T - \underline{X} + 0{,}45 \cdot S_X}{0{,}7797 \cdot S_X} \quad \text{(Equação 9)}$$

onde:

Xt = valores máximos prováveis de precipitação máxima diária para um determinado período de retorno T;

X = média da amostra;

Sx = desvio padrão da amostra; e

Yt = variável reduzida Gumbel para período de retorno T.

Os resultados foram tabulados e representados no gráfico Curva Precipitação Máxima x Tempo de Retorno (conforme item 6.1).

- Intensidade Pluviométrica

A intensidade pluviométrica foi calculada a partir da aplicação da equação de chuvas válidas na área de estudo, para duração da chuva igual ao tempo de concentração da bacia. A duração mínima da chuva foi de 5 minutos.

- Precipitações para um dia de chuva

Para a determinação das precipitações para chuvas de 1 dia de duração foi utilizada a Fórmula de Ven Te Chow (1988), definida pela Equação 10:

$$P_r = P_{Méd} + K_u \text{ (Equação 10)}$$

Onde:

P*r* = Precipitação máxima para chuvas de 1 dia de duração, em milímetros;

P*Méd* = Precipitação média durante o período observado, em milímetros;

u = Desvio padrão das máximas precipitações diárias anuais;

K = Fator de frequência, obtido da Tabela de Gumbel – Fatores de frequência, em função do período de observação e dos tempos de recorrência.

Os valores de K utilizados na Equação 10 foram obtidos a partir da Tabela de Gumbel – Fatores de Frequência K, apresentada na Tabela 14.

Tabela 14 - Fatores de frequência de Gumbel.

Período de Recorrência (Tr anos)							
Tr / n	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**50**	**100**
10	1,058	1,848	2,289	2,606	2,847	3,588	4,323
11	1,034	1,809	2,242	2,553	2,789	3,516	4,238
12	1,013	1,777	2,202	2,509	2,741	3,456	4,166
13	0,996	1,748	2,168	2,470	2,699	3,405	4,105

Período de Recorrência (Tr anos)							
Tr / n	5	10	15	20	25	50	100
14	0,931	1,724	2,138	2,437	2,663	3,360	4,052
15	0,967	1,703	2,112	2,410	2,632	3,321	4,005
16	0,955	1,682	2,087	2,379	2,601	3,283	3,959
17	0,943	1,664	2,066	2,355	2,575	3,250	3,921
18	0,934	1,649	2,047	2,335	2,552	3,223	3,888
19	0,926	1,636	2,032	2,317	2,533	3,199	3,860
20	0,919	1,625	2,018	2,302	2,517	3,179	3,326
21	0,911	1,613	2,004	2,286	2,500	3,157	3,810
22	0,905	1,603	1,992	2,272	2,484	3,138	3,787
23	0,899	1,593	1,980	2,259	2,470	3,121	3,766
24	0,893	1,584	1,969	2,247	2,457	3,104	3,747
25	0,883	1,575	1,958	2,235	2,444	3,088	3,729
26	0,883	1,563	1,949	2,224	2,432	3,074	3,711
27	0,879	1,560	1,941	2,215	2,422	3,061	3,696
28	0,874	1,553	1,932	2,205	2,412	3,048	3,631
29	0,870	1,547	1,924	2,196	2,402	3,037	3,667
30	0,866	1,541	1,917	2,188	2,393	3,026	3,653
31	0,863	1,535	1,910	2,180	2,385	3,015	3,641
32	0,860	1,530	1,904	2,173	2,377	3,005	3,629
33	0,856	1,525	1,897	2,166	2,369	2,996	3,618
34	0,853	1,520	1,892	2,160	2,362	2,987	3,608
35	0,851	1,516	1,886	2,152	2,354	2,979	3,593
36	0,848	1,511	1,881	2,147	2,349	2,971	3,588
37	0,845	1,507	1,876	2,142	2,344	2,963	3,579
38	0,843	1,503	1,871	2,137	2,338	2,957	3,571
39	0,840	1,599	1,867	2,131	2,331	2,950	3,563
40	0,838	1,495	1,862	2,126	3,326	3,943	3,554
41	0,836	1,492	1,858	2,121	2,321	2,936	3,547
42	0,834	1,489	1,854	2,117	2,316	2,930	3,539
43	0,832	1,485	1,850	2,112	2,311	2,924	3,532
44	0,830	1,482	1,846	2,108	2,307	2,919	3,526
45	0,828	1,478	1,842	2,104	2,303	2,913	3,519
46	0,826	1,476	1,839	2,100	2,293	2,903	3,513
47	0,824	1,474	1,836	2,096	2,291	2,903	3,507
48	0,823	1,471	1,832	2,093	2,290	2,893	3,501
49	0,821	1,469	1,830	2,090	2,237	2,844	3,496
50	0,820	1,466	1,827	2,086	2,283	2,889	3,499
51	0,818	1,464	1,824	2,083	2,280	2,885	3,486
52	0,817	1,462	1,821	2,080	2,276	2,881	3,481
53	0,815	1,459	1,818	2,077	2,273	2,875	3,474
54	0,814	1,457	1,816	2,074	2,270	2,873	3,471

Período de Recorrência (Tr anos)							
Tr / n	5	10	15	20	25	50	100
55	0,813	1,455	1,813	2,071	2,267	2,869	3,467
56	0,812	1,453	1,811	2,069	2,264	2,865	3,462
57	0,810	1,451	1,809	2,066	2,261	2,862	3,458
58	0,809	1,449	1,806	2,064	2,258	2,853	3,454
59	0,808	1,448	1,804	2,061	2,256	2,855	3,450
60	0,807	1,446	1,802	2,059	2,253	2,852	3,446

Fonte: M. D. Reid, 1942.

O valor das precipitações para chuvas de um dia de duração, correspondentes aos tempos de recorrência utilizados na proporcionalidade entre as relações de precipitações, foram convenientemente convertidos para chuvas com duração de 24 horas, 12 horas, 10 horas, 8 horas, 6 horas, 1 hora, 30 minutos, 25 minutos, 15 minutos, 5 minutos, através da utilização das porcentagens indicadas no DAEE/CETESB (1986), conforme Tabela 15.

Tabela 15 - Fatores de Conversão de chuvas.

Duração	Coeficientes	Duração	Coeficientes
24 h 24 h-1	1,14	30 min h-1	0,74
12 h 24 h-1	0,85	25 min 0,5 h-1	0,91
10 h 24 h-1	0,82	20 min 0,5 h-1	0,81
8 h 24 h-1	0,78	15 min 0,5 h-1	0,70
6 h 24 h-1	0,72	10 min 0,5 h-1	0,54
1 h 24 h-1	0,42	5 min 0,5 h-1	0,34

Fonte: DAEE/CETESB, 1986

Para correlacionar as precipitações na estação pluviométrica do presente estudo, foi determinada a relação 24 horas/1dia, para o tempo de recorrência de base de um ano, utilizando-se a Equação 11:

$$P_{24} = r\ x\ P_{1dia} \text{ (Equação 11)}$$

- Curvas de Intensidade - Duração – Frequência e Precipitação – Duração – Frequência.

As relações entre as grandezas que caracterizam as precipitações máximas devem ser obtidas por meio da análise de chuvas ao longo de um período de tempo relativamente grande, de forma que seja possível estabelecer as frequências como probabilidades. Estas relações irão resultar em uma família de curvas intensidade-duração, uma para cada período de retorno (CASTRO; SILVA; SILVEIRA, 2011).

Por meio destas relações entre intensidade, duração e período de retorno, é possível obter a equação de chuvas intensas, sendo os parâmetros obtidos por meio de análise e tratamento de dados de pluviogramas, ou, na ausência destes, de pluviômetros. Neste último

caso deve-se ainda utilizar a metodologia de desagregação de chuvas para os valores de precipitação máxima diária anual (BATISTA, 2013).

No presente estudo, foi adotada a metodologia conforme BATISTA (2013) para a determinação das curvas Intensidade – Duração – Frequência e Precipitação – Duração – Frequência.

5.3.2. Análise das Cotas do rio Negro

Para a determinação dos níveis máximos e mínimos do rio Negro nas proximidades da AID, assim como os respectivos tempos de recorrência dos níveis, utilizou-se o método estatístico de Gumbel. A série histórica disponível na estação linimétrica utilizada (144990000 – Porto de Manaus) possui dados a partir de 1902, perfazendo, portanto, um total de 120 anos de dados. Entretanto, objetivando-se gerar uma correlação entre os dados de pluviometria e fluviometria para a região de estudo, delimitou-se a série amostral a partir de 2001 até o ano da máxima cota registrada, em 2021.

Este método é indicado em regiões onde não existe uma equação de chuva intensa, porém existem muitos dados de precipitação diária através de estações pluviométricas, utilizando-se as Equações 12, 13 e 14 e os índices da Tabela 16.

$$X_{T=Xm+k\,.\sigma} \quad \text{(Equação 12)}$$

Sendo:

XT=Valor extremo para um determinado período de retorno;

Xm= Valor médio da amostra;

σ= Desvio padrão da amostra; e

K= Fator de frequência determinado por:

$$K = (yt - yn)/Sn \quad \text{(Equação 13)}$$

Sendo:

K= fator de frequência

$$yt = -(Ln\big(Ln(t-1)\big)) \quad \text{(Equação 14)}$$

Sendo:

T= Período de retorno (anos);

yn= Média reduzida em função do tamanho da amostra N;

N= Tamanho da amostra; e

Sn= Desvio padrão reduzido em função do tamanho da amostra.

Tabela 16 - Valores da média reduzida Yn e desvio padrão reduzido Sn.

n	Ȳn	Sn	n	Ȳn	Sn	n	Ȳn	Sn
10	0,4967	0,9573	**45**	0,5463	1,1519	**73**	0,5555	1,1881
15	0,5128	1,0206	**46**	0,5468	1,1538	**74**	0,5557	1,1890
20	0,5236	1,0628	**47**	0,5473	1,1557	**75**	0,5559	1,1898
21	0,5252	1,0696	**48**	0,5477	1,1574	**76**	0,5561	1,1906
22	0,5268	1,0754	**49**	0,5481	1,1590	**77**	0,5563	1,1915
23	0,5283	1,0811	**50**	0,5485	1,1607	**78**	0,5565	1,1923
24	0,5296	1,0864	**51**	0,5489	1,1623	**79**	0,5567	1,1930
25	0,5309	1,0915	**52**	0,5493	1,1638	**80**	0,5569	1,1938
26	0,5320	1,0961	**53**	0,5497	1,1658	**81**	0,557	1,1945
27	0,5332	1,1004	**54**	0,5501	1,1667	**82**	0,5572	1,1953
28	0,5343	1,1047	**55**	0,5504	1,1681	**83**	0,5574	1,1960
29	0,5353	1,1086	**56**	0,5508	1,1696	**84**	0,5576	1,1967
30	0,5362	1,1124	**57**	0,5511	1,1708	**85**	0,5578	1,1973
31	0,5371	1,1159	**58**	0,5515	1,1721	**86**	0,558	1,1980
32	0,5380	1,1193	**59**	0,5518	1,1734	**87**	0,5581	1,1987
33	0,5388	1,1226	**60**	0,5521	1,1747	**88**	0,5583	1,1994
34	0,5396	1,1255	**61**	0,5524	1,1759	**89**	0,5585	1,2001
35	0,5403	1,1285	**62**	0,5527	1,1770	**90**	0,5586	1,2007
36	0,5410	1,1313	**63**	0,5530	1,1782	**91**	0,5587	1,2013
37	0,5418	1,1339	**64**	0,5533	1,1793	**92**	0,5589	1,2020
38	0,5424	1,1363	**65**	0,5535	1,1803	**93**	0,5591	1,2026
39	0,5430	1,1388	**66**	0,5538	1,1814	**94**	0,5592	1,2032
40	0,5436	1,1413	**67**	0,5540	1,1824	**95**	0,5593	1,2038
41	0,5442	1,1436	**68**	0,5543	1,1834	**96**	0,5595	1,2044
42	0,5448	1,1458	**69**	0,5545	1,1844	**97**	0,5596	1,2049
43	0,5453	1,1480	**70**	0,5548	1,1854	**98**	0,5598	1,2055
44	0,5458	1,1499	**71**	0,5550	1,1863	**99**	0,5599	1,2060
			72	0,5552	1,1873	**100**	0,56	1,2065

Fonte: Subramanya, 2008.

Primeiramente, o ajuste dos dados foi realizado para a série completa de níveis máximos e mínimos mensais. Logo após, usando as mesmas séries de níveis, a amostra de registros foi preparada a fim de não se enviesar os resultados na obtenção do melhor ajuste estatístico.

Para todos os cálculos foram preparadas amostras a fim de obter séries mais uniformes de, no mínimo, 20 anos. Segundo a literatura corrente, a aplicação de métodos estatísticos no computo da probabilidade da recorrência de eventos extremos deve se limitar ao dobro do período de dados disponíveis. A sugestão desse limite é feita como forma de garantir o grau de confiança das extrapolações realizadas. Entretanto, deve-se analisar caso a caso, pois dependendo da consistência e do grau de correlação obtido entre a série de registros observados

e o ajuste calculado, o limite para a extrapolação pode ser maior ou menor que o dobro de período de dados existentes. Neste caso, com séries que remontam 20 anos de registros linimétricos do rio Negro, optou-se em extrapolar os valores de níveis para, no máximo, 40 anos de tempo de retorno.

Dessa forma, para cada série de níveis máximos e mínimos mensais, foi calculada uma reta de ajuste através da distribuição de valores extremos de Gumbel. Com a reta ajustada, foi possível calcular, em forma de planilhas, os tempos de retorno referentes aos níveis de interesse para a região de estudo.

5.3.3 Análise de Risco de Cheia

Para a definição teórica do risco de ruptura da obra, foi utilizada a equação de Righetto (1998), na qual a probabilidade J de ocorrer uma cota de projeto com tempo de recorrência TR (em anos) dentro da vida útil da obra, fixada em n (anos), é dada pela Equação 15 e Gráfico 7:

$$J = 1- (1-(1/TR)^{n}) \quad \text{(Equação 15)}$$

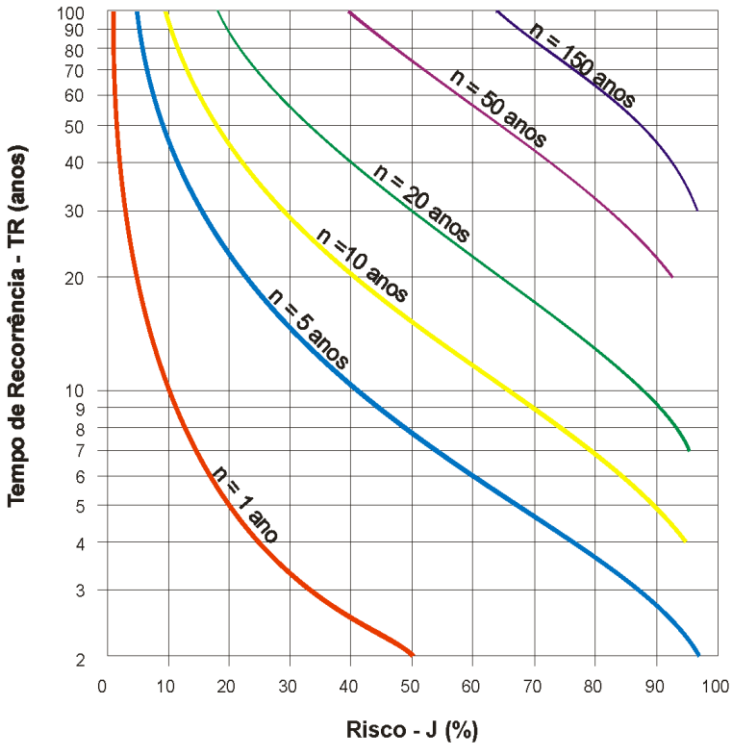
Onde:

J = risco (entre zero e um)

TR = período de retorno em anos

N = vida útil da obra

Gráfico 7 - Riscos x Tempos de Retorno.



Fonte: Righetto (1998).

No caso da solução proposta para a AID, o risco de ruptura calculado significa o risco de ocorrer uma cheia maior que a cheia de projeto. Ou ainda, a chance de que a cota máxima e mínima de projeto seja ultrapassada.

O período de retorno ou tempo de recorrência (Tr) é o tempo médio em anos que um evento (no caso uma chuva ou um evento de vazão máxima com determinada característica) é igualado ou superado pelo menos uma vez.

O período de retorno utilizado na determinação da vazão de projeto e, consequentemente, no dimensionamento do dispositivo de drenagem, foi fixado em função dos seguintes itens:

1. Importância e segurança da obra; e
2. Estudo benefício-custo, a partir da avaliação dos danos para vazões superiores à vazão de projeto, considerando danos a terceiros e custos para restauração do sistema.

A fixação do período de retorno depende, então, do grau de segurança exigido pela obra e dos riscos que se pode correr com a eventual superação das vazões de cheia estimadas. A escolha do tempo de recorrência da enchente de projeto deve ser revista em cada caso particular; em linhas gerais são adotados os seguintes valores usuais:

Tabela 17 - Períodos de retorno x tipologias de sistemas de drenagem.

Espécie	Período de recorrência (anos)
Drenagem Superficial	5 a 10
Drenagem Subsuperficial	10
Bueiros Tubulares	15 (como canal)
	25 (como orifício)
Bueiro Celular	25 (como canal)
	50 (como orifício)
Pontilhão	50
Ponte	100

Fonte: IPR-726, 2006.

Deste modo, tem-se, que, os tempos de retomo para dispositivos de drenagem superficial é de 10 anos e para bueiros tubulares de 15 e 25 anos considerando que a obra trabalhe como canal e orifício, respectivamente e para bueiros celulares temos 25 para canal e 50 como orifício. Para as obras de arte especiais o tempo de recorrência é de 100 anos. Assim, fixou-se em 25 anos a vida útil da obra (por se tratar de macrodrenagem).

5.3.3. Diagnóstico da rede de drenagem existente na AID

A ABNT NBR 6118:2020, em seu item 6.2, define vida útil de projeto como o tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, desde que atendidos os

requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, bem como a execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais.

Sabe-se que para determinar a vida útil de estruturas de concreto (simples ou armado) diversos fatores devem ser considerados, tais como:

- Fatores que influenciam o fck (resistência à compressão): o consumo de cimento por m^3 de mistura produzida, fator água cimento, forma, duração e condições climáticas durante a concretagem, tipo de cura.
- Desempenho do elemento de concreto armado: cobrimento mínimo das armaduras, fck do concreto, carregamento atuante, agressividade do meio exposto.

Adicionalmente, no caso de tubulações enterradas e galerias de concreto, devem ser considerados também questões quanto a qualidade da execução das juntas entre os elementos, compactação do berço de assentamento, compactação do reaterro e espessura mínima de cobrimento destes dispositivos, além do grau de agressividade do solo.

Realizou-se uma pesquisa documental nos arquivos do IPHAE/SEDAC, bem como, levantamento cadastral de campo, com registro fotográficos, dos dispositivos de drenagem existentes na AID, permitindo-se assim, inferir a vida útil do sistema de drenagem.

5.3.4 Elaboração de Mapas de manchas de inundações na AID

a) Levantamento de Modelo Digital de Terreno (MDT)

De acordo com Espartel (1982), é fundamental o prévio levantamento topográfico do local onde se implantará qualquer obra de engenharia, arquitetura ou agronomia. Para levantamentos topográficos, equipamentos já consagrados, como a Estação Total e o GPS RTK, são inquestionáveis quanto a sua acurácia, entretanto, demandam equipes maiores e prazo estendido para sua realização. Tendo em vista a dimensão da área de estudo e a necessidade do levantamento de curvas de níveis com menor erro possível, optou-se pelo levantamento do modelo digital de terreno da AID a partir da fotogrametria com o uso de drone (modelo DJI MAVIC 2 PRO).

Figura 35: Drone modelo DJI MAVIC 2 PR utilizado para obtenção do MDT da AID.



Fonte: A Cunha, J. A. C. (2023).

A fotogrametria em si é uma ciência antiga e etimologicamente significa “medir graficamente usando luz”. Segundo Brito e Coelho (2002), a palavra “fotogrametria” significa “photon–luz, graphos–escrita, metron–medições”, ou medições executadas através de fotografias. Apesar de ser uma ciência já consagrada, a fotogrametria com drones é um método novo no mercado e com a promessa de facilitar e acelerar o processo de levantamento topográfico. Esse método permite o levantamento de grandes áreas a partir de voos autônomos e não tripulados, o que implica em menor mobilização de mão-de-obra e tempo gasto com o levantamento. Portanto, para a coleta de aerofogrametrias, realizou-se o levantamento na área de estudo, no período de abril a maio de 2022.

Para o presente estudo, foi realizado o mapeamento de áreas inundáveis na AID através de do MDT obtido através de levantamento aerofotogramétrico realizado na região de estudo e dos perfis da linha d’água dos eventos de cheia com diferentes probabilidades de excedência calculados para os períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos.

b) Uso dos softwares Autodesk Civil 3D v.2021 e ArcGIS 10.5

O *AutoCAD Civil 3D* ou *CIVIL 3D* é um software com base AutoCAD, desenvolvido pela Autodesk, que contém todas as funcionalidades do AutoCAD, entretanto possui ferramentas exclusivas que fornecem ao usuário a possibilidade de desenvolver, com maior facilidade, projetos nas áreas de transportes, SIG, meio ambiente, como análise de bacias hidrográficas e estudos hidráulicos e hidrológicos. Além de oferecer todo o suporte necessário para que o processo de BIM (Modelo da Informação da Construção) seja aplicado para diversos tipos de projetos de infraestrutura civil.

Além da viabilidade de geração do MDT da área de estudo, utilizou-se o software Civil 3D para a elaboração de peças gráficas contendo os dispositivos de drenagem existentes na AID e o esboço das soluções propostas para o sistema de drenagem local.

Ademais, utilizou-se do software ArcGIS 10.5 que é um sistema de informações geográficas, da classe dos sistemas conhecidos como “descktop gis”, desenvolvido pela ESRI (*Environmental Systems Research Institute*), o qual dispõe de diversos recursos de geoprocessamento, permite o acesso a bancos de dados geográficos em computadores e possui uma interface gráfica de fácil acesso (ESRI, 2004).

5.3.5 Proposição de Alternativas para o Sistema de Drenagem na AID

A proposição de alternativas para o sistema de drenagem existente baseou-se no Manual de apresentação de propostas para sistemas de drenagem urbana sustentável e de manejo de águas pluviais do Ministério do Desenvolvimento Regional (Secretaria Nacional de

Saneamento) inserido na sistemática PPA 2020-2023 (Programa 2218) da Gestão de Riscos e Desastres do Governo Federal.

O programa tem com ação o apoio a Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável e de Manejo de Águas Pluviais em Municípios Críticos Sujeitos a Eventos Recorrentes de Inundações, Enxurradas e Alagamentos (Funcional/Programática: 17.512.2218.10SG), gerando a redução do risco de desastres naturais em municípios críticos a partir do planejamento e da execução de obras, em articulação com as políticas de desenvolvimento urbano, de uso e ocupação do solo e de gestão das respectivas bacias hidrográficas, com foco na gestão sustentável da drenagem urbana, por meio de ações estruturais e não-estruturais dirigidas à recuperação de áreas úmidas, à prevenção, ao controle e à minimização dos impactos provocados por alagamentos, enchentes e inundações urbanas e ribeirinhas.

O programa considera elegíveis para o atendimento da Ação 10SG (Apoio a Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável e de Manejo de Águas Pluviais em Municípios Críticos Sujeitos a Eventos Recorrentes de Inundações, Enxurradas e Alagamentos), os municípios que:

a) possuam mapeamento de setorização de risco realizados ou reconhecidos pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM); e

b) tenham processo hidrológico crítico (inundação, enxurrada, enchente ou alagamento) como dominante.

De acordo com a Ação 10SG, as intervenções necessárias à ampliação e à melhoria dos sistemas de drenagem urbana devem contemplar soluções técnicas adequadas, envolvendo atividades de microdrenagem e macrodrenagem, para a promoção do escoamento regular das águas pluviais e prevenção de inundações locais, a jusante e a montante, proporcionando segurança sanitária, patrimonial e ambiental, por meio das seguintes intervenções:

Tabela 18: Intervenções para ampliação/melhoria dos sistemas de drenagem urbana (Ação 10SG).

Intervenções para ampliação/melhoria dos sistemas de drenagem urbana (Ação 10SG)	
Opções	**Descrição**
a	Reservatório de amortecimento de cheias;
b	Parque linear ribeirinho;
c	Parque isolado associado a reservatório de amortecimento de cheias ou área para infiltração de águas pluviais;
d	Recuperação de áreas úmidas (várzeas);
e	Banhados construídos (*wetlands*)
f	Restauração de margens
g	Recomposição de vegetação ciliar
h	Renaturalização de rios ou córregos;

Intervenções para ampliação/melhoria dos sistemas de drenagem urbana (Ação 10SG)	
Opções	**Descrição**
i	Bacias de contenção de sedimentos
j	Dissipadores de energia
k	Adequação de canais para retardamento do escoamento
l	Desassoreamento de rios e córregos
m	Canalização de córregos, quando associada a obras e ações estruturais e não estruturais, que priorizem a retenção, o retardamento e a infiltração das águas pluviais
n	Sistemas para aproveitamento das águas pluviais
o	Controle de enchentes e erosões provocadas pelos efeitos da dinâmica fluvial, incluindo a construção de espigões, muros de proteção, diques de contenção e outros tipos de obras a serem indicadas ou definidas nos estudos e projetos;
p	Estações elevatórias, diques e comportas quando fizerem parte do sistema macrodrenagem
q	Ampliação, reabilitação e/ou reconstrução de unidades de drenagem subdimensionadas
r	Obras de microdrenagem complementares
s	Serviços Preliminares
t	Outras obras complementares (pavimentação / sistema de monitoramento/ urbanização / etc).
u	Ações para viabilização das obras (desapropriações / reassentamentos).

Fonte: Manual de apresentação de propostas para sistemas de drenagem urbana sustentável e de manejo de águas pluviais, MDR (2020).

6. RESULTADOS

6.1. Análise Pluviométrica

Por meio da caracterização do regime pluviométrico e da natureza das precipitações intensas na região, determinaram-se as descargas máximas na área em estudo, permitindo assim, o dimensionamento das obras necessárias para as alternativas do sistema de drenagem (Apêndice 35). Por conseguinte, os dados pluviométricos obtidos para a AID viabilizaram a elaboração das seguintes análises:

- Curvas de intensidade-duração-frequência para 5, 10, 15, 25, 50 e 100 anos;
- Curvas de altura-duração-frequência para 5, 10, 15, 25, 50 e 100 anos;
- Histogramas das precipitações pluviométricas mensais mínimas, médias e máximas;
- Histogramas com as distribuições mensais dos números de dias de chuva mínimos, médios e máximos.

a) Posto pluviométrico adotado

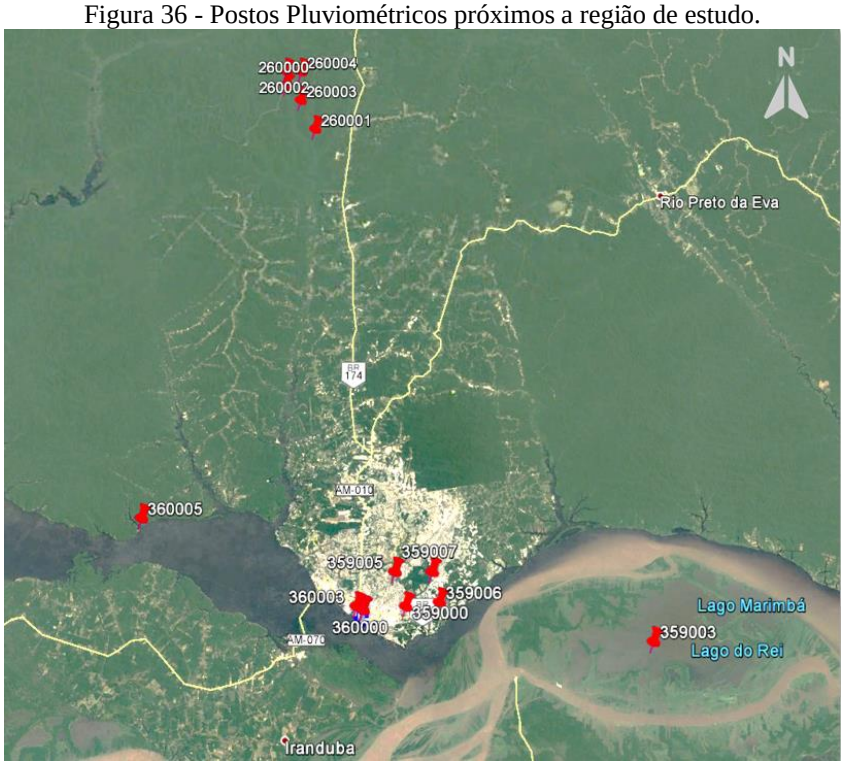
De acordo com o Sistema de Informações Hidrológicas - HidroWeb da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), os postos pluviométricos disponíveis (mais próximos a área de estudo) foram analisados na Figura 30 e listados na Tabela 19.

Tabela 19 - Postos pluviométricos próximos a região de estudo.

CÓDIGO	ESTAÇÃO	MUNICÍPIO	RESPONSÁVEL	OPERADORA	OBS.
360004	Manaus	Manaus	ANA	CPRM	S/R[1]
359000	Manaus (Ponta Pelada)	Manaus	DEPV	DEPV	S/R[1]
359005	CPRM-SUREG/MA	Manaus	ANA	CPRM	
359006	Manaus	Manaus	INMET	INMET	S/R[1]
359007	BIF/MA-Bombeiros	Manaus	ANA	CPRM	
260000	Tarumã Açu (INPA)	Manaus	SUDAM	SUDAM	S/R[1]
260001	Tarumã Acu (INPA)	Manaus	SUDAM	SUDAM	
260002	Res. Biológica de Cuieiras-INPA	Manaus	SUDAM	SUDAM	
260003	Tarumã Açu (INPA)	Manaus	SUDAM	SUDAM	
260004	Res. Biológica de Cuieiras-INPA	Manaus	SUDAM	SUDAM	
359003	Manaus-Esc. Agrotec.	Manaus	INMET	INMET	S/R[1]
360000	Manaus	Manaus	INMET	INMET	
360003	Reserva Florestal Ducke-INPA	Manaus	OUTRAS	OUTRAS	
360005	Comunidade São João	Manaus	ANA	CPRM	
S/R[1] - Sem registro de chuvas no site da ANA (HidroWeb)					

Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Figura 36 - Postos Pluviométricos próximos a região de estudo.



Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Na Figura 30 pode-se observar a disposição dos postos pluviométricos em relação a zona urbana da cidade de Manaus/AM. Entretanto, tendo em vista a otimização de dados

característicos para a região de estudo, na realização do processamento de dados hidrológicos, buscaram-se as estações com distâncias inferiores a 10 km da AID. Dessa forma, apresenta-se na Figura 37 a cidade de Manaus e a localização dos postos pluviométricos próximos à região de estudo, listados na Tabela 20.

Figura 37 -Localização da região de estudo no Sistema Hidroweb (ANA).



Fonte: Adaptado de Hidroweb - ANA, 2022.

Tabela 20 - Postos Pluviométricos próximos a região de estudo (inferiores a 10km de distância).

Estações Pluviométricas próximas à região de estudo				
Código	Estação	Distância em relação à região de estudo	Série de dados	Total da série histórica
360000	INMET	8,05 km	1961-2019	59 anos
360004	Manaus	0,64 km	Indisponível	Não possui
359000	Manaus (Ponta Pelada)	4,42 km	1961-2007	47 anos
359005	CPRM-SUREG	4,14 Km	1998-2021	24 anos

Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Observa-se que a estação pluviométrica 360004 apesar de ser a mais próxima da AID, não dispõe de dados para coleta. A estação pluviométrica 359000 apesar de possuir maior série cadastrada no sistema nacional, paralisou a coleta de dados pluviométricos a partir do ano de 2007, perdendo-se o registro das últimas cheias ocorridas, tais como 2012 e 2021.

Portanto, adotou-se, a estação pluviométrica da CPRM-SUREG 359005, por conter série recente e representativa (24 anos) para utilização e análise estatística e contemplar dados do período da última cheia ocorrida em 2021 na região de estudo (Tabela 20).

Quanto às demais estações pluviométricas, além das distâncias elevadas em relação à região de estudo, descartaram-se os postos com séries inferiores a 20 anos ou com percentual de falhas nos dados anuais superior a 5%.

Tabela 21 - Características da estação pluviométrica CPRM-SUREG 359005.

Nome da Estação	Responsável	Município	Operadora	Código	Tipo	Localização		Intervalo de Dados
						Latitude	Longitude	
CPRM-SUREG	ANA	Manaus	CPRM	359005	Pluviômetro	-3,100000	-59,994444	1998-2021

Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Para ao posto pluviométrico adotado, foram analisados valores de precipitação diária dos anos de 1998 a 2021, separando-se manualmente o acumulado de precipitação de cada mês para todos os anos, descartando-se os anos que não possuíam dados para todos meses, evitando assim, divergências no comportamento hidrológico anual. Entretanto, visando o comparativo de dados com o período equivalente da análise fluviométrica, padronizou-se a série entre os anos 2001 e 2021 totalizando 21 anos de análise de dados.

Apresentam-se na Tabela 22 os anos contendo dados completos relativos à série histórica da Estação Pluviométrica adotada no presente estudo.

Tabela 22 - Série histórica de pluviometria adotada.

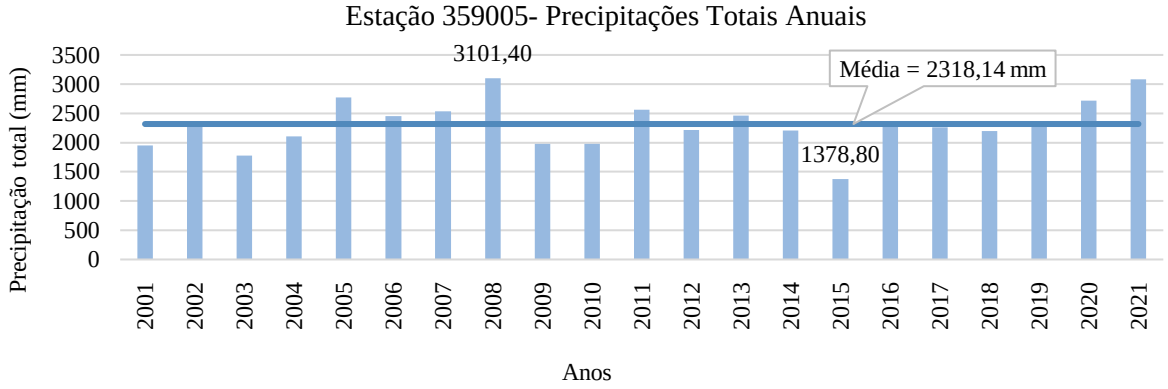
Estação Pluviométrica CPRM SUREG (359005) Série adotada (21 anos)
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021

Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

b) Precipitações Totais Anuais

Realizada a análise de consistência dos dados pluviométricos, formou-se a série dos totais anuais com valores mínimo, máximo e média de 1.378,80 mm, 3.101,40 mm e 2.318,14 mm, respectivamente, para o período com disponibilidade de dados, conforme demonstrado no Gráfico 8.

Gráfico 8 - Precipitações totais anuais – Estação 359005.



Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

c) Precipitações Máximas Anuais

Para o posto pluviométrico adotado, elaborou-se uma série de precipitações máximas anuais e foram determinadas a média, o desvio-padrão e o coeficiente de assimetria dos dados brutos observados.

A Tabela 23 e Gráfico 9 apresentam os dados consolidados das precipitações máximas anuais para o posto considerado no presente estudo. Dos 21 anos de dados, os valores da menor e máxima precipitação entre as máximas analisadas correspondem a 67,10 e 176,10mm, respectivamente. A média equivale a 111,09mm, com desvio padrão de 25,64 e o coeficiente de variação 0,23.

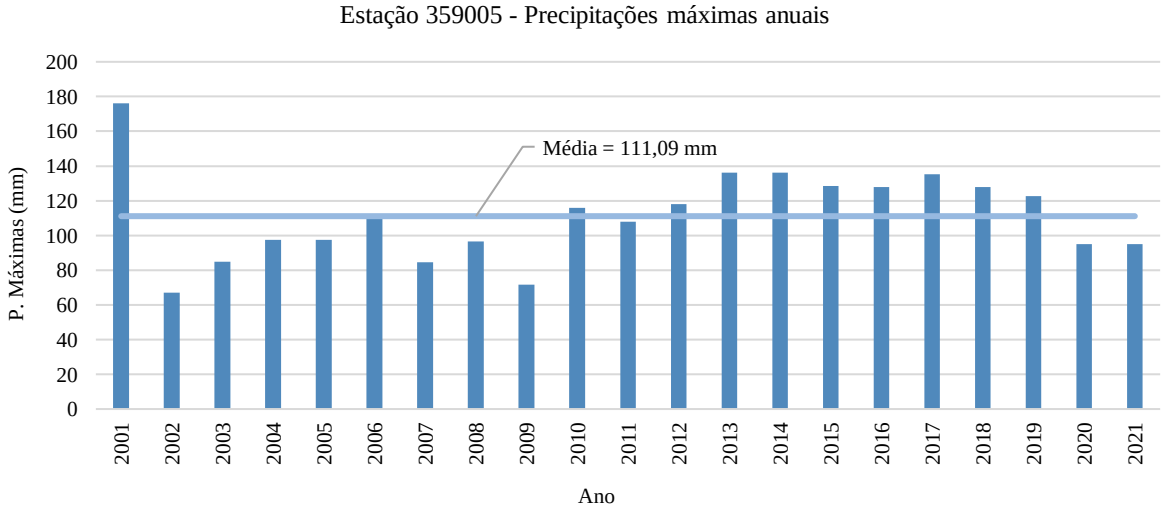
Tabela 23 - Precipitações máximas anuais para o posto selecionado.

Posto CPRM SUREG Estação 359005	
Ano	**P.Máximas (mm)**
2001	176,10
2002	67,10
2003	84,80
2004	97,40
2005	97,40
2006	110,40
2007	84,70
2008	96,50

Posto CPRM SUREG Estação 359005	
Ano	**P.Máximas (mm)**
2009	71,80
2010	115,90
2011	107,80
2012	117,90
2013	136,30
2014	136,30
2015	128,50
2016	128,00
2017	135,30
2018	128,00
2019	122,60
2020	95,00
2021	95,00
Nº Eventos	21,00
Maior	176,10
Menor	67,10
Média	111,09
Desvio Padrão	25,64
Coeficiente de Variação	0,23

Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Gráfico 9 - Precipitações Máximas Anuais - Posto selecionado.



Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

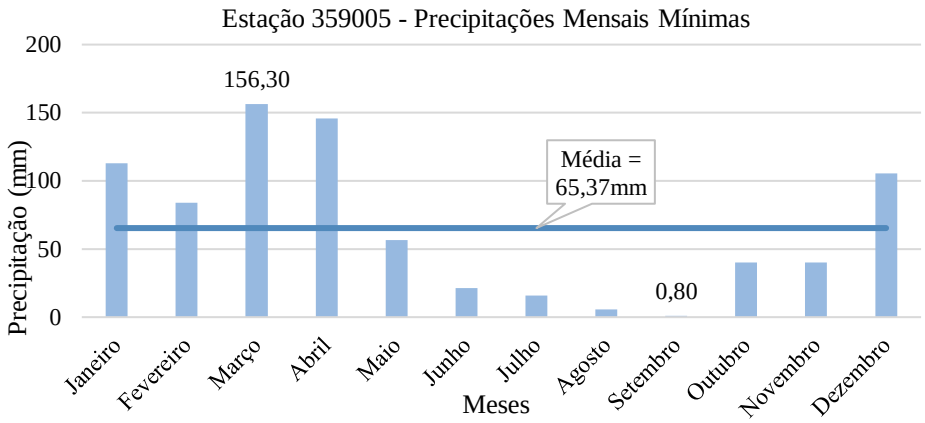
De acordo com Silva e Araújo (2013), são de grande relevância os dados de precipitação máxima para o dimensionamento de obras de engenharia, principalmente em projetos relacionados a drenagem, uma vez que, normalmente, não se tem dados suficientes para o local em estudo. Desse modo, o estudo e a caracterização das precipitações máximas são de suma

importância na elaboração de projetos de engenharia voltados ao dimensionamento hidráulico (MARTINEZ JÚNIOR; MAGNI, 1999).

d) Precipitações Mensais Mínimas

A série de precipitações mensais mínimas para o posto pluviométrico adotado pode ser observada através do Gráfico 10. Onde a precipitação máxima ocorre no mês de março e a mínima em setembro. Os valores da menor e máxima precipitação entre as mínimas analisadas correspondem a 0,80 e 156,30mm; respectivamente. A média equivale a 65,37mm; com desvio padrão de 54,31.

Gráfico 10 - Precipitações Mensais Mínimas - Posto selecionado.

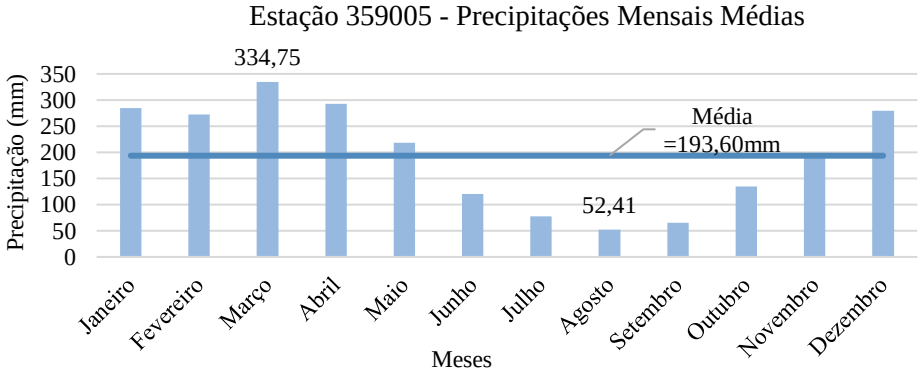


Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

e) Precipitações Mensais Médias

A série de precipitações mensais médias para o posto pluviométrico adotado é apresentada no Gráfico 11. Observa-se que a precipitação mensal média máxima ocorre no mês de março e a mínima em agosto. Os valores da menor e máxima precipitação entre as mensais médias analisadas correspondem a 52,41 e 334,75mm; respectivamente. A média equivale a 193,60mm; com desvio padrão de 100,49.

Gráfico 11 - Precipitações Mensais Médias - Posto selecionado

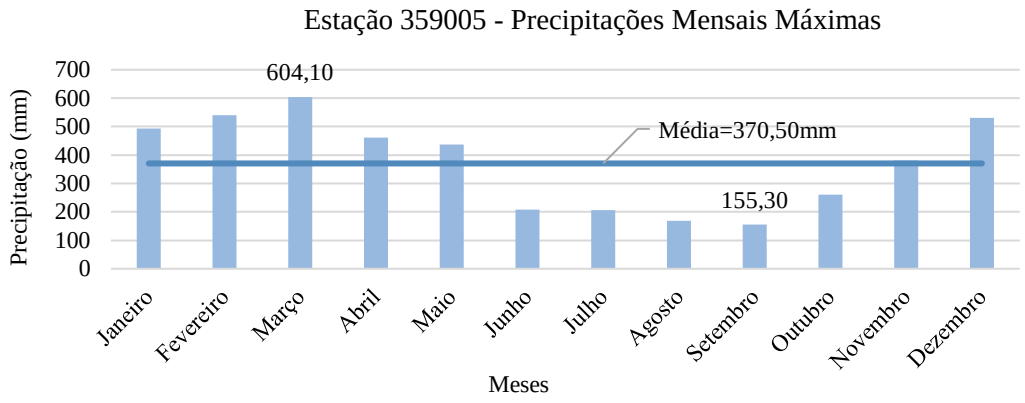


Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

f) Precipitações Mensais Máximas

De acordo com a série histórica do posto pluviométrico adotado, as precipitações mensais máximas ocorrem no mês de março e as mínimas em setembro conforme apresentado no Gráfico 12. Os valores da menor e máxima precipitação entre as mensais máximas analisadas correspondem a 155,30 e 604,10; respectivamente. A média equivale a 370,50mm; com desvio padrão de 162,48.

Gráfico 12 - Precipitações Mensais Máximas - Posto selecionado

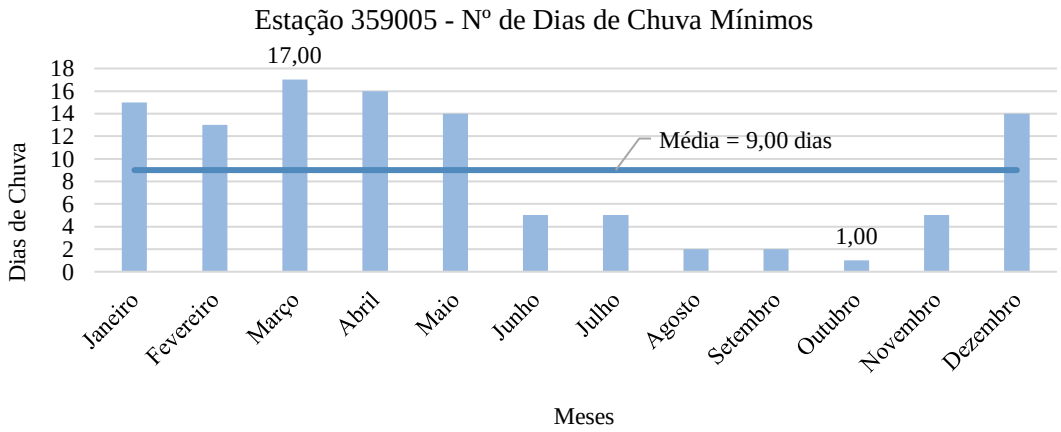


Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

g) Número de dias de chuva mínimos

A série de números de dias de chuva mínimos para o posto pluviométrico adotado pode ser observada através do Gráfico 13. Nesta observa-se que o maior registro de dias de chuva mínimos ocorre no mês de março e o menor número de dias de chuva mínimos ocorre em outubro. Na série analisada, os valores de menor e maior número de dias de chuva mínimos correspondem a 1 e 17 dias, respectivamente. A média equivale a 9 dias, com desvio padrão de 6,22.

Gráfico 13 - Nº de dias de chuva mínimos - Posto selecionado

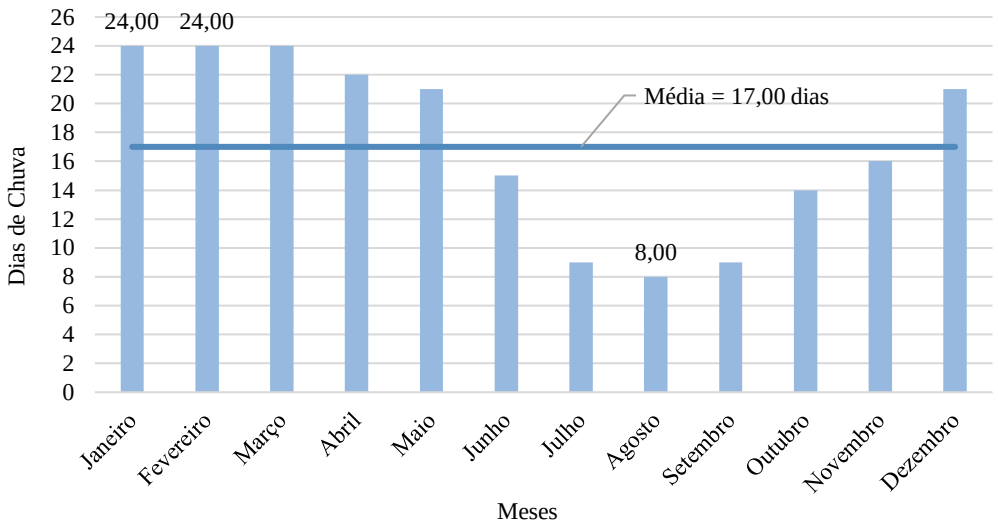


Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

h) Número de dias de chuva médios

De acordo com a série histórica do posto pluviométrico adotado, o maior número de dias de chuva médias ocorrem nos meses de janeiro e março e o menor número em agosto conforme apresentado no Gráfico 14. O maior e menor número de dias de chuva médios é de 24 e 8 dias, respectivamente. A média é de 17 dias e o desvio padrão é de 6,22 na série analisada.

Gráfico 14 - Nº de dias de chuva médios - Posto selecionado.



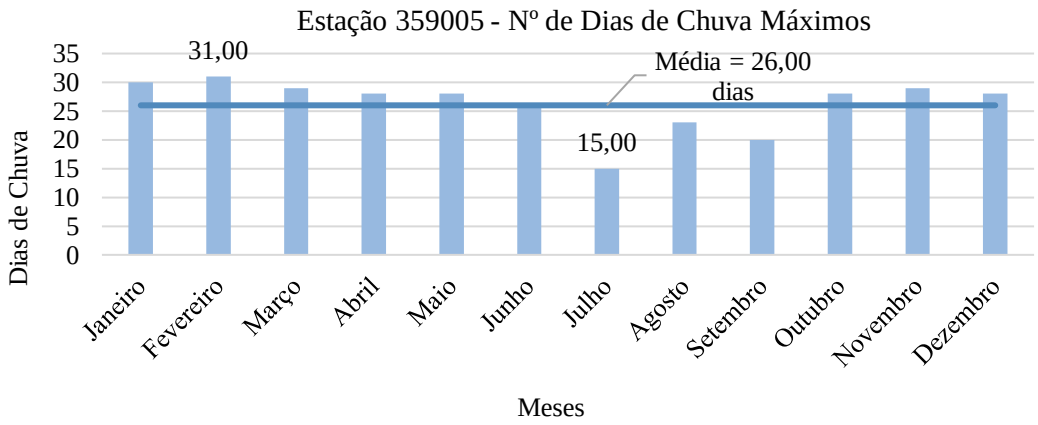
Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

i) Número de dias de chuva máximos

A série de número de dias de chuva máximos para o posto pluviométrico adotado é apresentada no Gráfico 15. Observa-se que o maior número de dias de chuvas máximas ocorre no mês de fevereiro (31 dias) e o menor número ocorre no mês julho (15 dias). O semestre Dezembro–Maio apresenta os índices pluviométricos elevados enquanto que no semestre de Junho-Novembro os índices são baixos. Além destes, caracterizam-se os trimestres críticos na região:

- Trimestre chuvoso: Fevereiro – Março – Abril, com maiores número de dias de chuva;
- Trimestre seco: Julho – Agosto – Setembro, com menores número de dias de chuva.

Gráfico 15 - Nº de dias de chuva máximos - Posto selecionado.



Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

j) Valores máximos prováveis de precipitação

As precipitações máximas (X_t) para a AID, utilizando a distribuição de Gumbel, apresentados na Tabela 23 e Gráfico 15, resultaram na equação y = 20,216ln(x) + 98,168, com coeficiente de correlação superior a 0,99.

Os valores foram respectivamente, para os TR's em estudo (5, 10, 25, 50 e 100 anos): X_{t5} =129,53 mm, X_{t10}= 144,53 mm, X_{t20}= 158,92 mm, Xy_{t50}= 177,54 mm e X_{t100}= 191,50 mm. Para a obtenção de tais resultados, além da organização decrescente dos valores máximos de precipitação da série em ambas as análises, também foram considerados os valores de 111,09 mm para a média e 25,64 mm para o desvio padrão.

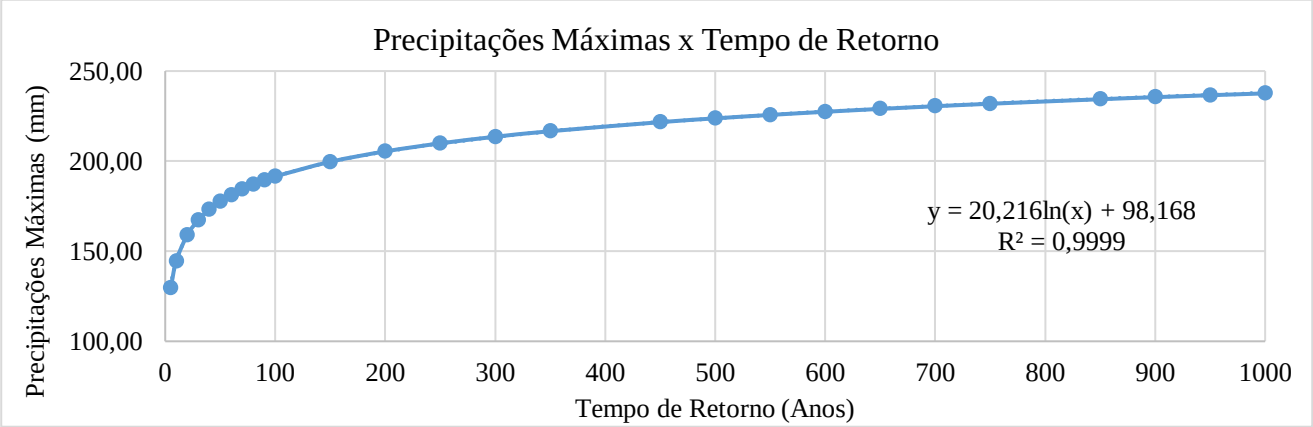
Tabela 24 - Precipitações máximas para períodos de retorno na AID.

Posto CPRM SUREG Estação 359005		
TR (anos)	**Yt**	**P.Máximas (mm)**
5	129,53	129,53
10	144,53	144,53
20	158,92	158,92
30	167,20	167,20
40	173,03	173,03
50	177,54	177,54
60	181,22	181,22
70	184,33	184,33
80	187,01	187,01
90	189,38	189,38
100	191,50	191,50
150	199,64	199,64
200	205,40	205,40
250	209,87	209,87
300	213,52	213,52
350	216,61	216,61

Posto CPRM SUREG Estação 359005		
TR (anos)	**Yt**	**P.Máximas (mm)**
450	221,64	221,64
500	223,75	223,75
550	225,65	225,65
600	227,40	227,40
650	229,00	229,00
700	230,48	230,48
750	231,86	231,86
850	234,36	234,36
900	235,51	235,51
950	236,59	236,59
1000	237,61	237,61
Nº Eventos Amostra		21,00
Média da Amostra		111,09
Desv. Padrão Amostra		25,64

Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Gráfico 16 - Precipitações Máximas x Tempo de Retorno (CPRM SUREG).



Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

k) Precipitações para um dia de chuva

As precipitações para chuvas de um dia de duração, correspondentes aos tempos de recorrência utilizados na proporcionalidade entre as relações de precipitações, foram convenientemente convertidas para chuvas com duração de 24 horas, 12 horas, 10 horas, 8 horas, 6 horas, 1 hora, 30 minutos, 25 minutos, 15 minutos, 5 minutos, através da utilização das porcentagens indicadas no DAEE/CETESB (1986), onde os valores para 24 horas (1 dia de chuva, são apresentados na Tabela 25.

Tabela 25 - Intensidade calculada para chuva de 1 dia.

Tempo de Recorrrência	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**50**	**100**
k	0,911	1,613	2,004	2,286	2,5	3,157	3,81
P (1 dia) em milímetros	138,65	157,67	168,27	175,91	181,71	199,51	217,20

Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

l) Curvas de Intensidade - Duração – Frequência (IDF) e Precipitação - Duração – Frequência (PDF).

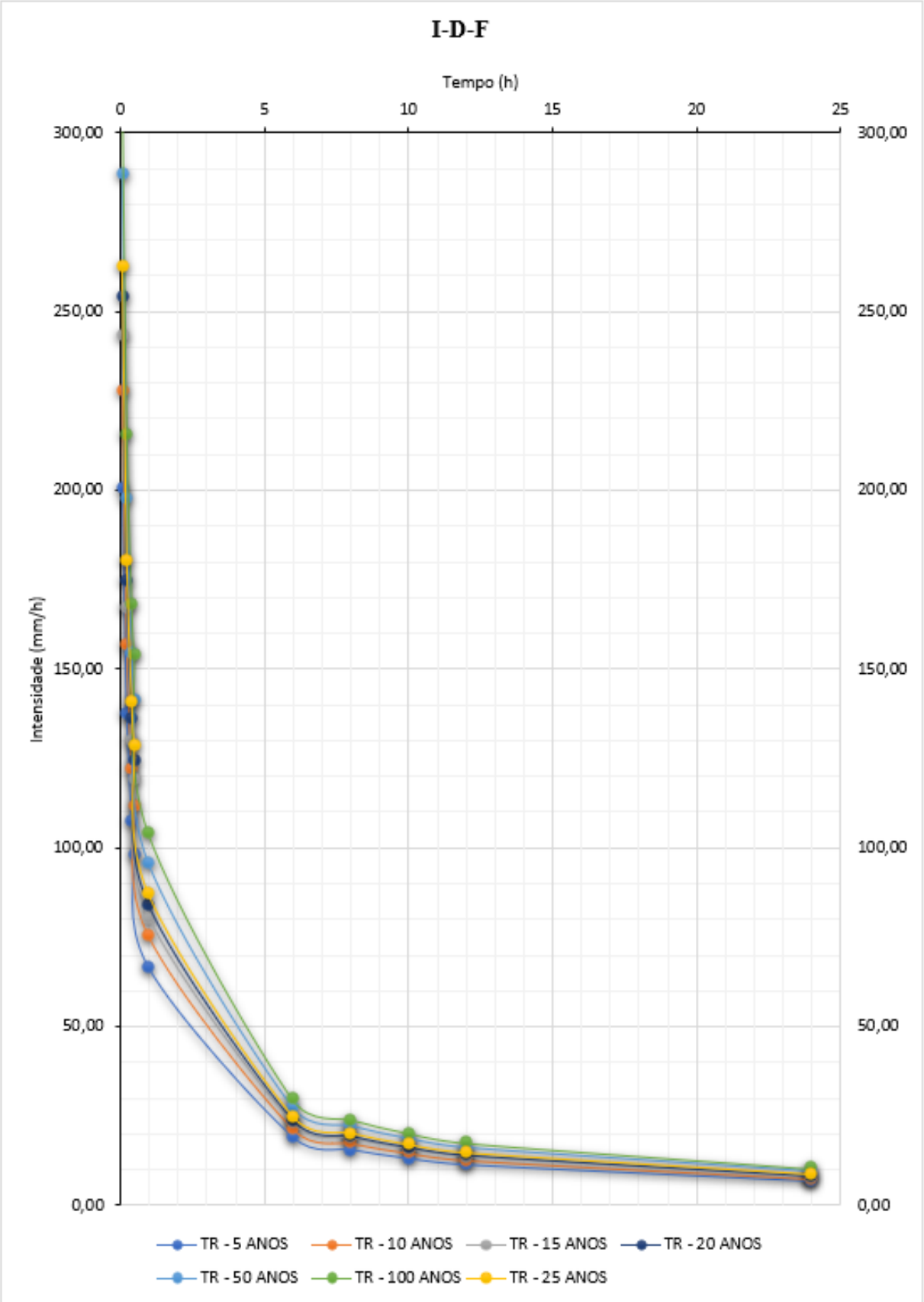
A Tabela 25 e Gráfico 16 apresentam as intensidades de precipitações em função das durações e tempos de recorrência analisados. Observa-se que para uma precipitação de um dia de duração e tempo de retorno de cinco anos, ocorre a menor intensidade calculada em 6,59 mm/h e o outro extremo ocorre para o tempo de retorno de cem anos e menor duração de precipitação (cinco minutos), onde calculou-se a intensidade pluviométrica de 313,98 mm/h para a região de estudo.

Tabela 26 - Intensidade em função do Tempo de Recorrência.

Tempo de Recorrência	**Intensidade (mm/h)**									
	24Hr	12 hr	10 hr	8 hr	6 hr	1 hr	30 min	25 min	15 min	5 min
5	6,59	11,20	12,96	15,41	18,97	66,39	98,25	107,29	137,55	200,43
10	7,49	12,73	14,74	17,53	21,57	75,49	111,73	122,01	156,42	227,93
15	7,99	13,59	15,73	18,70	23,02	80,57	119,24	130,21	166,93	243,24
20	8,36	14,20	16,44	19,55	24,06	84,22	124,65	136,12	174,51	254,29
25	8,63	14,67	16,99	20,20	24,86	87,00	128,76	140,61	180,27	262,67
50	9,48	16,11	18,65	22,18	27,29	95,52	141,38	154,38	197,93	288,41
100	10,32	17,54	20,30	24,14	29,71	104,00	153,91	168,07	215,48	313,98

Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Gráfico 17 - Intensidade – Duração – Frequência



Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

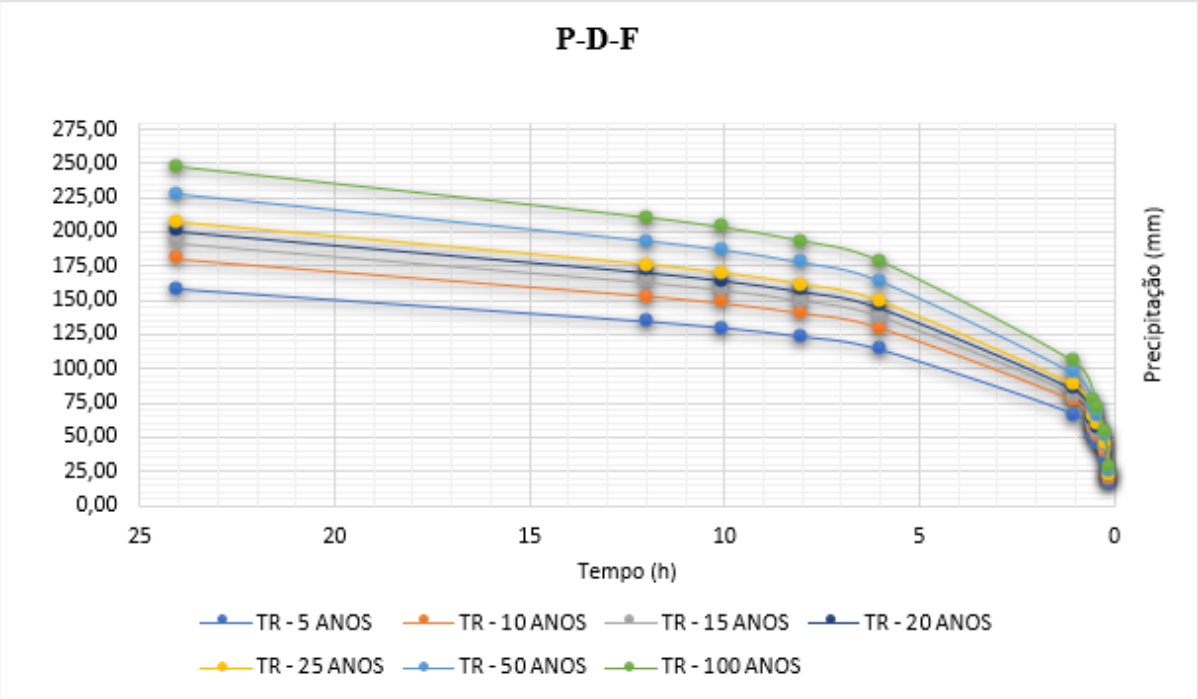
As alturas de precipitação em função da duração destas e tempo de recorrência analisados, são apresentadas na Tabela 27 e Gráfico 18, onde observa-se que a maior altura de precipitação 217,20mm ocorre para um dia de duração e período de retorno de 100 anos enquanto a menor altura de precipitação 16,70mm ocorre para a duração de cinco minutos de precipitação e menor tempo de retorno (cinco anos).

Tabela 27 - Precipitação em função do Tempo de Recorrência.

Tempo de Recorrência	Precipitação (mm)										
	P1dia	24Hr	12 hr	10 hr	8 hr	6 hr	1 hr	30 min	25 min	15 min	5 min
5	138,65	158,06	134,35	129,61	123,29	113,80	66,39	49,13	44,70	34,39	16,70
10	157,67	179,75	152,78	147,39	140,20	129,42	75,49	55,86	50,84	39,11	18,99
15	168,27	191,82	163,05	157,30	149,62	138,11	80,57	59,62	54,25	41,73	20,27
20	175,91	200,53	170,45	164,44	156,42	144,38	84,22	62,33	56,72	43,63	21,19
25	181,71	207,14	176,07	169,86	161,57	149,14	87,00	64,38	58,59	45,07	21,89
50	199,51	227,44	193,32	186,50	177,40	163,76	95,52	70,69	64,33	49,48	24,03
100	217,20	247,61	210,47	203,04	193,13	178,28	104,00	76,96	70,03	53,87	26,17

Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Gráfico 18 - Precipitação – Duração – Frequência



Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

6.2. Análise das cotas do rio Negro

Apresentam-se na Tabela 28 as cotas máximas e mínimas anuais do rio Negro, no período de 2001 a 2021, da estação linimétrica selecionada. Verifica-se que na série analisada, a cota mínima de vazante ocorreu no mês de outubro de 2010, registrando-se a marca de 13,63m

e em contrapartida, a cota máxima de enchente ocorreu em junho de 2021, alcançando a marca de 30,02m. Ademais, observa-se a partir da Tabela 27, a ocorrência de cotas mínimas de forma predominante no mês de outubro e das máximas no mês de junho.

Tabela 28 - Cotas máximas e mínimas do rio Negro (Estação linimétrica 14990000).

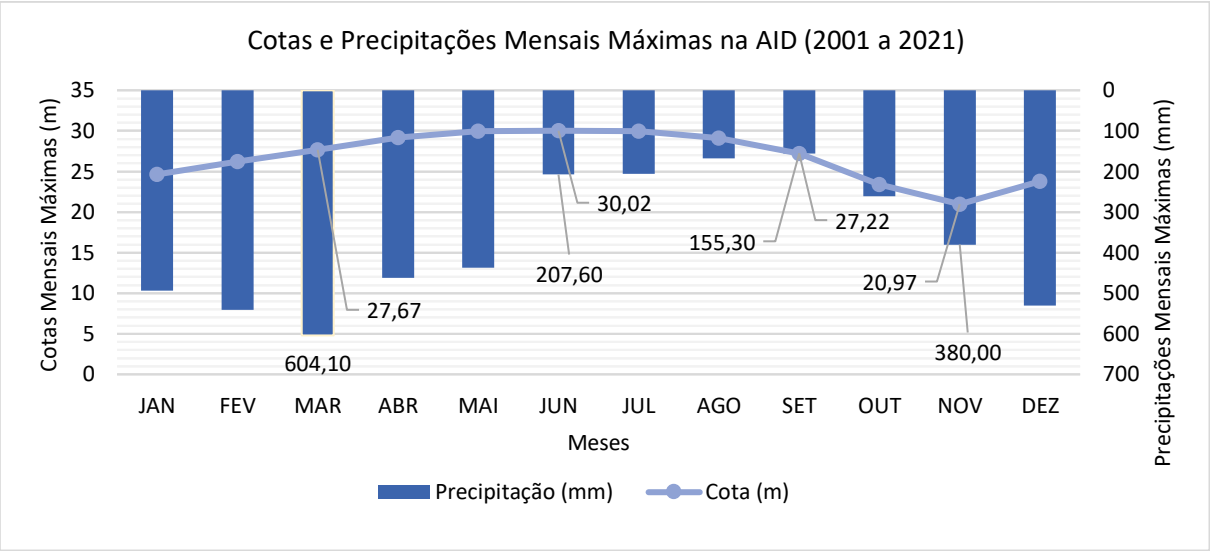
Ano	Cota Máxima Enchente(m)	Data	Cota Mínima Vazante(m)	Data
2001	28,21	19/jun	16,81	31/out
2002	28,91	27/jun	17,19	31/out
2003	28,27	01/jul	19,01	11/nov
2004	27,13	12/jun	19,23	17/nov
2005	28,1	01/jun	14,75	25/out
2006	28,84	09/jun	16,89	25/out
2007	28,18	21/jun	17,74	26/out
2008	28,62	19/jun	18,43	28/out
2009	29,77	01/jul	15,86	04/dez
2010	27,96	11/jun	**13,63**	24/out
2011	28,62	28/jun	16,76	10/out
2012	29,97	29/mai	15,96	27/nov
2013	29,33	14/jun	18,83	01/jan
2014	29,5	03/jul	19,9	28/out
2015	29,66	29/jun	15,92	28/out
2016	27,19	15/jun	17,2	13/dez
2017	29	05/jun	17,34	06/out
2018	28,38	23/jun	17,05	05/nov
2019	29,42	24/jun	18,06	25/out
2020	28,52	18/jun	16,6	06/nov
2021	**30,02**	16/jun	19,44	04/nov

Fonte: Hidroweb - ANA, adaptado pela Cunha, J. A. C. (2023).

a) Comparativo entre cotas e precipitações na AID

O Gráfico 18 representa o comparativo entre os dados de precipitações mensais máximas e as cotas mensais máximas registradas no rio Negro, no entorno da AID, no período de 2001 a 2021. Notadamente, observa-se que a média de precipitação mensal máxima registrada (604,10mm) ocorreu no mês de março, em contrapartida a cota do rio Negro alcançava nesse período a máxima mensal de 27,67m, atingindo a cota máxima apenas no mês de junho (30,02m), onde a precipitação apresentava o período de redução de chuvas, atingindo a média mensal máxima de 207,60mm.

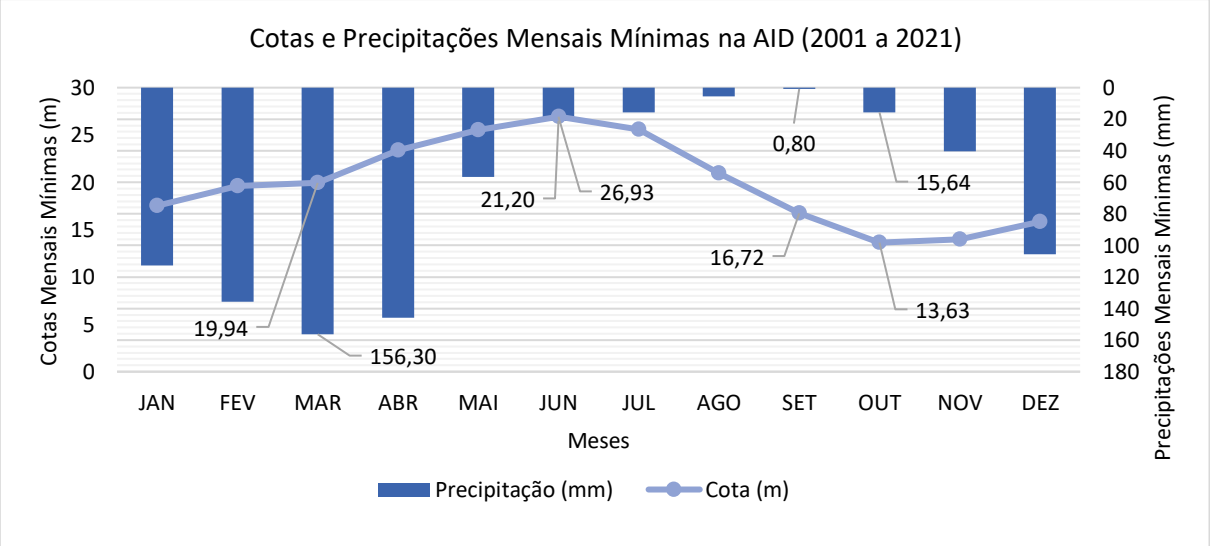
Gráfico 19 - Cotas e Precipitações Mensais Máximas na AID (2001 a 2021).



Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

No comparativo entre cotas e precipitações mensais mínimas (Gráfico 19), verificou-se um comportamento similar às máximas, visto que a máxima das precipitações mensais mínimas foi registrada no mês de março (156,30mm) e a mínima em setembro (0,80mm), entretanto a cota máxima das mínimas mensais registradas no rio Negro, no entorno da AID, ocorreu no mês de junho (26,93m) e a mínima em outubro (13,63m).

Gráfico 20 - Cotas e Precipitações Mensais Mínimas na AID (2001 a 2021).

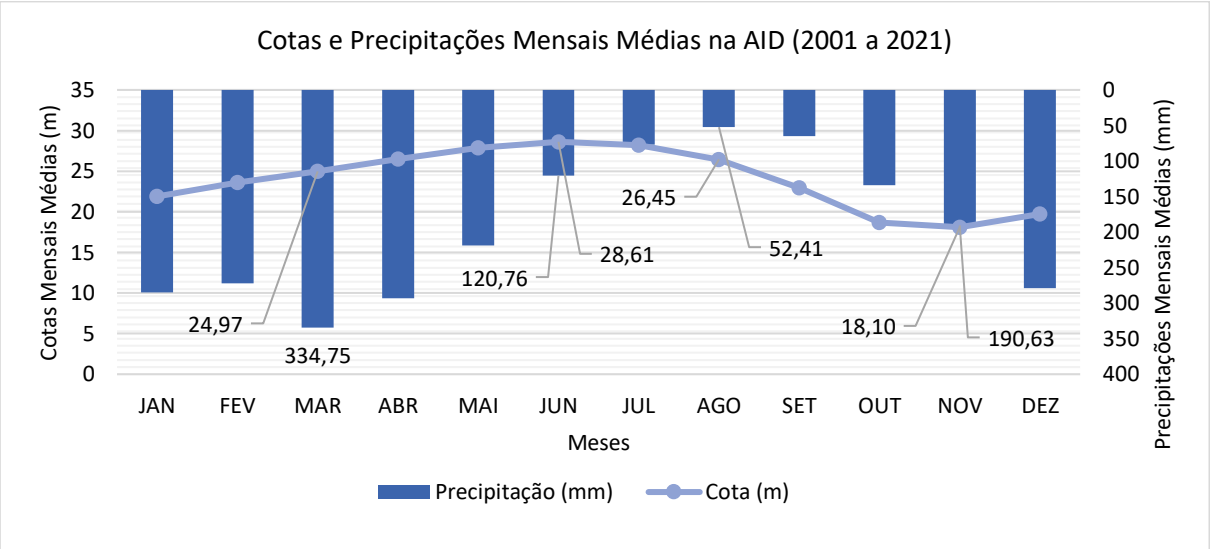


Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

O Gráfico 20 representa o comparativo entre as cotas e precipitações mensais médias na AID, ainda no período de 2001 a 2021, no qual observa-se o comportamento mensal médio entre os dados analisados. Neste, verifica-se que a precipitação mensal média máxima ocorre

no mês de março (334,75mm) e a mínima no mês de agosto (52,41mm), entretanto, a cota mensal máxima do rio Negro, na região de estudo ocorre no mês de junho (28,61) e a mínima no mês de novembro (18,10m). Portanto há uma defasagem de aproximadamente 03 meses na resposta hidrológica em relação a precipitação.

Gráfico 21 - Cotas e Precipitações Mensais Médias na AID (2001 a 2021).



Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

b) Análise de Níveis Máximos

Através da série de registros de cotas máximas observadas entre os anos de 2001 e 2021, foram realizados testes com objetivo de atingir a melhor correlação possível entre a reta de ajuste estatístico e os dados observados. No caso da série de níveis máximos da estação linimétrica do rio Negro, os anos que apresentaram níveis máximos inferiores às seis ultimas cheias foram retirados. Assim, obteve-se um bom coeficiente de correlação para reta ajustada aos dados selecionados.

A preparação da série utilizada é importante, pois quando existem valores muito desviados da média, estes tendem a desviar a reta de ajuste. No caso dos valores referentes aos máximos anuais retirados da série, esses dados provocariam uma rotação da reta de ajuste no sentido anti-horário, fazendo com que os tempos de recorrência relativos aos níveis da extremidade superior da série fossem superestimados.

A Tabela 28 apresenta os resultados obtidos com aplicação da distribuição de valores extremos de Gumbel para série de níveis máximos anuais.

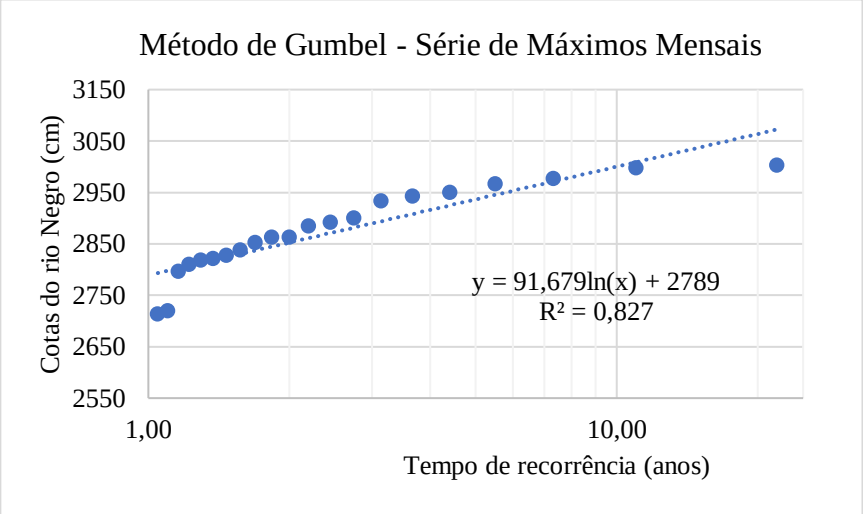
Tabela 29 - Distribuição de Gumbel – Cotas Máximas Anuais.

Ano de ocorrência	Níveis	Nº de ordem	Níveis em ordem decrescente (cm)	H - Hm	(H - Hm)²	Probabilidade não ocorrerem níveis maiores (%)	Tempo de recorrência (anos)	Variável reduzida (y)	y - yn	(y - yn)2
2001	2821	1	3002	127,71	16.310,94	95,45	22,00	3,068	2,543	6,465
2002	2891	2	2997	122,71	15.058,80	90,91	11,00	2,351	1,825	3,332
2003	2827	3	2977	102,71	10.550,22	86,36	7,33	1,920	1,395	1,946
2004	2713	4	2966	91,71	8.411,51	81,82	5,50	1,606	1,081	1,168
2005	2810	5	2950	75,71	5.732,65	77,27	4,40	1,355	0,830	0,689
2006	2884	6	2942	67,71	4.585,22	72,73	3,67	1,144	0,619	0,383
2007	2818	7	2933	58,71	3.447,37	68,18	3,14	0,960	0,435	0,189
2008	2862	8	2900	25,71	661,22	63,64	2,75	0,794	0,269	0,072
2009	2977	9	2891	16,71	279,37	59,09	2,44	0,642	0,117	0,014
2010	2796	10	2884	9,71	94,37	54,55	2,20	0,501	-0,025	0,001
2011	2862	11	2862	-12,29	150,94	50,00	2,00	0,367	-0,159	0,025
2012	2997	12	2862	-12,29	150,94	45,45	1,83	0,238	-0,288	0,083
2013	2933	13	2852	-22,29	496,65	40,91	1,69	0,112	-0,413	0,171
2014	2950	14	2838	-36,29	1.316,65	36,36	1,57	-0,012	-0,537	0,288
2015	2966	15	2827	-47,29	2.235,94	31,82	1,47	-0,136	-0,661	0,437
2016	2719	16	2821	-53,29	2.839,37	27,27	1,38	-0,262	-0,787	0,619
2017	2900	17	2818	-56,29	3.168,08	22,73	1,29	-0,393	-0,918	0,843
2018	2838	18	2810	-64,29	4.132,65	18,18	1,22	-0,533	-1,059	1,121
2019	2942	19	2796	-78,29	6.128,65	13,64	1,16	-0,689	-1,215	1,475
2020	2852	20	2719	-155,29	24.113,65	9,09	1,10	-0,875	-1,400	1,959
2021	3002	21	2713	-161,29	26.013,08	4,55	1,05	-1,129	-1,654	2,735
n=	21,00								Hm=	2874,29
∑H=	60360,00								σn-1=	82,43
∑(H-Hm)²=	135878,29								yn=	0,53
∑y=	11,03								Sn=	1,07
∑(y-yn)²=	24,01									

Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Com os cálculos realizados na Tabela 28, foi possível o ajuste em escala log-normal conforme apresentado Gráfico 22, cujos dados do ajuste resultaram na equação y = 91,967 * ln(x) + 2.789,00, como coeficiente de correlação superior a 0,827. Observa-se a partir da Tabela 28 que a probabilidade da cota máxima registrada no rio Negro (3002cm) ser superada é de 95,45% para o tempo de retorno de 22 anos.

Gráfico 22 - Ajuste da distribuição de cotas Máximas Anuais.



Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

A Tabela 30 apresenta os valores de níveis da régua linimétrica para os tempos de retorno de referência do presente estudo. Observa-se que em 10 anos, a cota prevista para o rio Negro tende a se aproximar da máxima registrada em 2021 (3002cm) e que para o tempo de recorrência de 25 anos, a cota prevista tende a superá-la (3084cm).

Tabela 30 - Níveis máximos e tempos de retorno correspondentes.

Tempo de recorrência (anos)	Nível da régua (cm)	Coeficiente de correlação (R2)
5	2937	0,83
10	3000	
25	3084	
50	3148	
100	3211	

Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

c) Análise de Níveis Mínimos

Para a análise dos níveis mínimos foram realizados testes similares aos realizados no estudo da série de máximos. O objetivo dos testes é idêntico ao descrito para níveis máximos, ou seja, obter o maior grau de correlação possível entre os dados observados e a reta de ajustamento estatístico.

Utilizou-se a mesma série histórica delimitada no período de 2001 a 2021 para a análise de cotas mínimas do rio Negro na AID. A série de dados brutos de níveis mínimos anuais da estação linimétrica do rio Negro apresenta valores bastante concisos. Na Tabela 31 são apresentados os resultados obtidos pela distribuição de valores extremos de Gumbel. Verificou-se que a probabilidade da cota mínima registrada (1363cm) em 2010 ser superada é de 95,45% para o tempo de retorno de 22 anos.

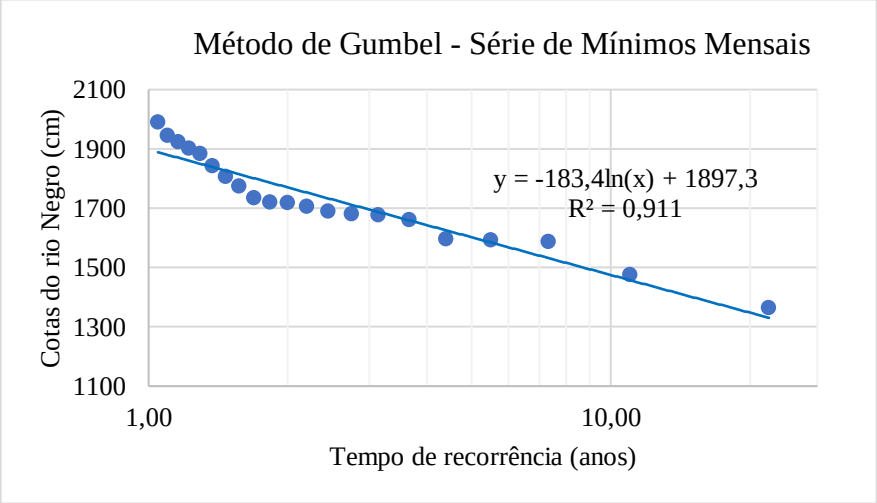
Tabela 31 -Distribuição de Gumbel – Cotas Mínimas Anuais.

Ano de ocorrência	Níveis	Número de ordem m	Níveis em ordem crescente (cm)	H - Hm	(H - Hm)²	Probabilidade de não ocorrerem níveis maiores (%)	Tempo de recorrência (anos)	Variável reduzida (y)	y - yn	(y - yn)2
2001	1681	1	1363	-363,67	132.253,44	95,45	22,00	3,068	2,543	6,465
2002	1719	2	1475	-251,67	63.336,11	90,91	11,00	2,351	1,825	3,332
2003	1901	3	1586	-140,67	19.787,11	86,36	7,33	1,920	1,395	1,946
2004	1923	4	1592	-134,67	18.135,11	81,82	5,50	1,606	1,081	1,168
2005	1475	5	1596	-130,67	17.073,78	77,27	4,40	1,355	0,830	0,689
2006	1689	6	1660	-66,67	4.444,44	72,73	3,67	1,144	0,619	0,383
2007	1774	7	1676	-50,67	2.567,11	68,18	3,14	0,960	0,435	0,189
2008	1843	8	1681	-45,67	2.085,44	63,64	2,75	0,794	0,269	0,072
2009	1586	9	1689	-37,67	1.418,78	59,09	2,44	0,642	0,117	0,014
2010	1363	10	1705	-21,67	469,44	54,55	2,20	0,501	-0,025	0,001
2011	1676	11	1719	-7,67	58,78	50,00	2,00	0,367	-0,159	0,025
2012	1596	12	1720	-6,67	44,44	45,45	1,83	0,238	-0,288	0,083
2013	1883	13	1734	7,33	53,78	40,91	1,69	0,112	-0,413	0,171
2014	1990	14	1774	47,33	2.240,44	36,36	1,57	-0,012	-0,537	0,288
2015	1592	15	1806	79,33	6.293,78	31,82	1,47	-0,136	-0,661	0,437
2016	1720	16	1843	116,33	13.533,44	27,27	1,38	-0,262	-0,787	0,619
2017	1734	17	1883	156,33	24.440,11	22,73	1,29	-0,393	-0,918	0,843
2018	1705	18	1901	174,33	30.392,11	18,18	1,22	-0,533	-1,059	1,121
2019	1806	19	1923	196,33	38.546,78	13,64	1,16	-0,689	-1,215	1,475
2020	1660	20	1944	217,33	47.233,78	9,09	1,10	-0,875	-1,400	1,959
2021	1944	21	1990	263,33	69.344,44	4,55	1,05	-1,129	-1,654	2,735
n=	21,00								Hm=	1726,67
∑H=	36260,00								σn-1=	157,12
∑(H-Hm)²=	493752,67								yn=	0,5252
∑y=	11,03								Sn=	1,0696
∑(y-yn)²=	24,01									

Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Com os dados obtidos na Tabela 31, foi possível o ajuste em escala log-normal apresentado no Gráfico 19, cujos dados do ajuste resultaram na equação y = -183,4ln(x) + 1897,30, como coeficiente de correlação superior a 0,911.

Gráfico 23 - Ajuste da distribuição de cotas mínimas anuais.



Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

A Tabela 32 apresenta os valores de níveis da régua linimétrica para os tempos de retorno de referência para o projeto. Verifica-se que para o tempo de retorno de 25 anos, a cota mínima para o rio Negro tende a superar a mínima registada em 2010 (1363cm), além desta, verifica-se que em 5 anos, a cota tende a superar a mínima observada nos últimos 6 anos (1660cm/2020), dados com coeficiente de correlação relativamente elevado (0,91).

Tabela 32 - Níveis mínimos e tempos de retorno correspondentes.

Tempo de recorrência (anos)	Nível da régua (cm)	Coeficiente de correlação (R2)
5	1602	
10	1475	
25	1307	0,91
50	1180	
100	1053	

Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

d) Análise de Risco de Cheia

Fixando em 25 anos a vida útil das soluções propostas para a rede de drenagem existente na AID, obtiveram-se os riscos de ocorrerem enchentes maiores à máxima registrada, para cada um dos tempos de retorno analisados (Tabela 33). Observa-se que o maior risco (99,62%) ocorre para o menor tempo de retorno (5 anos) para uma obra de 25 anos de vida útil.

Tabela 33 - Riscos de inundações para a vida útil da obra.

n - vida útil da obra (anos)	TR – tempo de recorrência (anos)	J – Risco de ocorrer enchente maior (%)
25	5	99,62
25	10	92,82
25	25	63,96
25	50	39,65
25	100	22,22

Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Tendo em vista a previsão de obras de drenagem na orla da AID e que de acordo com a ABNT NBR 13209/1994 (que trata de planejamento portuário e obras de acostagem), para a fixação preliminar da cota de coroamento de infraestruturas de orla, são recomendados, para berço situado em estuário sem maré, em cursos d'água, o mínimo de 0,50m acima do nível d'água adotado como limite superior à função e finalidade da obra de acostagem, consideradas as condições locais de topografia e variação do nível d'água. Portanto, acresceu-se às cotas calculadas para os tempos de retorno de estudo, a folga mínima requerida na normativa. Por conseguinte, verifica-se que a cota de coroamento para implantação de dispositivos de drenagem na orla da AID, supera a cota máxima registrada em 2021 no tempo de retorno de 10 anos (30,50m). Na Tabela 34 são apresentados todos os resultados obtidos para níveis máximos e mínimos do rio Negro na região de estudo (AID) e seus respectivos tempos de recorrência.

Tabela 34 - Correspondência entre os níveis calculados e as cotas.

Tempo de recorrência (anos)	Máximos			Mínimos	
	Nível da régua (cm)	Cota de projeto (m)	Coroamento (m) com folga mínima (NBR 13209/94)	Nível da régua (cm)	Cota de projeto (m)
5	2937	29,37	29,87	1602	16,02
10	3000	30,00	30,50	1475	14,75
25	3084	30,84	31,34	1307	13,07
50	3148	31,48	31,98	1180	11,80
100	3211	32,11	32,61	1053	10,53

Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

A Tabela 35 sintetiza os resultados do regime fluvial que atendem os critérios normativos e de riscos da obra, à luz do equilíbrio técnico x financeiro uma vez que os dados foram calculados e não apenas estimados. Portanto, para a vida útil (25 anos), as soluções alternativas a serem propostas para a rede de drenagem existente na AID devem observar a cota máxima do rio Negro de 31,34m e a mínima de 14,75m (atendendo as condições mínimas de navegabilidade do curso hídrico). Logo, todas os dispositivos ou elementos

pertencentes ao sistema de drenagem proposto, deverão ser implantados de forma a atender às condições mínimas e máximas de variação fluvial do curso hídrico adjacente ao projeto.

Tabela 35 - Níveis e Cotas adotadas para o rio Negro na AID.

Rio Negro (Manaus/AM)	**Eventos Máximos**		**Eventos Mínimos**	
	Lâmina d'água (L.A.)	Coroamento (NBR13209)	Lâmina d'água (L.A.)	Condição de Navegabilidade (AHIMOC)
Posto Fluviométrico (ANA 14990000)	TR=25anos	NR ≥ (L.A.+ 50cm)	TR=25anos	NR≥ 90% Ano Seco (TR=10)
NÍVEL Régua (cm)	3084	3084	1307	1475
COTA Topo (metros)	30,84	31,34	13,07	14,75

Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

6.3.Diagnóstico da rede de drenagem existente na AID

Os sistemas de drenagem são classificados de acordo com suas dimensões em sistemas de microdrenagem e de macrodrenagem. Estes possuem a finalidade de interceptar e conduzir as águas precipitadas a um curso d'água seguro. A microdrenagem é um sistema composto por canaleta, meio-fio (guia), sarjeta, bocas-de-lobo, poços de visita, tubos de concreto armado e todos os elementos necessários para o funcionamento do sistema (grades, segmentos de transposição, entre outros). A macrodrenagem inclui, além da microdrenagem, as galerias de grande porte com diâmetros maiores que um metro e cinquenta centímetros (ø > 1,50 m), dissipadores de energia e corpos receptores, tais como canais e rios canalizados.

Realizou-se o levantamento cadastral de campo dos dispositivos de drenagem existentes na AID no período de junho a setembro de 2021.Verificou-se portanto, que a área de estudo, por ser histórica, possui em parte um sistema de drenagem composto por galerias pluviais centenárias que recolhem tanto o esgotamento sanitário como as águas pluviais e, que devido à expansão demográfica, alterações climáticas e novas metodologias de dimensionamento nos anos subsequentes; geraram o acréscimo de redes de drenagem com seções menores, construção de canalizações fechadas, entre outros dispositivos.

a) Drenagem superficial existente

A drenagem superficial na AID é composta por diversos dispositivos cujas dimensões variam conforme a via de circulação associada e em função da topografia do terreno. Com auxílio do levantamento realizado em campo, os dispositivos existentes foram quantificados

e resumidos na Tabela 36. Verifica-se portanto a presença de dispositivos de drenagem superficial em todas as vias existentes da AID, predominantemente formados por sarjetas de larguras entre 0,30 e 0,50cm; bodas de lobo de dimensão mínima (entre 0,80 a 1,00m); caixas coletoras (entre 0,70 e 0,90m de largura), canaletas de espessura reduzida (entre 0,10 e 0,30m); e bueiros simples tubulares de concreto de dimensões a partir de 40cm (o que o torna inviável para fins de atividades de manutenção e desobstrução por apresentar seção transversal reduzida); observa-se ainda a presenta de bueiros simples tubulares de concreto de diâmetro de 60cm em cerca de 47,97% de toda a rede de drenagem existente; o que pode ser diretamente relacionado à possibilidade de lâminas excedidas em metade da rede tubular de drenagem existente, dada a amplitude da área de contribuição na referida área e a dimensão do dispositivo.

Tabela 36 - Dimensões médias e quantitativos dos principais dispositivos de drenagem identificados na AID.

Dispositivos de drenagem existentes na AID		
Dispositivo	Largura Média	Quantitativo
Sarjeta	0,40m	31.378,42m
Boca-de-lobo	0,90m	244,00 und
Caixa Coletora	0,80m	1.036,00 und
Canaleta	0,20m	878,00m
Poço de Visita	0,50m	613,00 und
Bueiro Simples Tubular de concreto Ø40cm	0,40m	1.496,92m
Bueiro Simples Tubular de concreto Ø60cm	0,60m	2.002,79m
Bueiro Simples Tubular de concreto Ø80cm	0,80m	409,32m
Bueiro Simples Tubular de concreto Ø100cm	1,00m	265,30m

Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Apresentam-se através do Apêndice 01 deste trabalho, as peças gráficas contendo o levantamento cadastral realizado dos dispositivos de drenagem existentes na AID. Na Tabela 37, ilustram-se, de forma sucinta as condições de estado de uso e conservação dos dispositivos de drenagem superficial identificados na área de estudo. Verifica-se o desgaste dos dispositivos de drenagem superficial existentes na AID com base na verificação visual de ausência de manutenção periódica, ocasionando a obstrução por resíduos, danos em grelhas, incoerência de localização de dispositivos de captação, entre outros.

Tabela 37 – Exemplos de dispositivos de drenagem superficial identificados na AID.

Exemplos de imagens obtidas dos dispositivos de drenagem superficial existentes.	Descrições / Observações
	**Dispositivo:** Meio-fio que conduz para boca-de-lobo na Av. Eduardo Ribeiro. **Observações:** O dispositivo de captação superficial encontra-se ao lado de uma rampa de forma desfavorável à declividade do terreno. Este tipo de falha foi identificada em diversos encontros entre o sistema viário e os acessos às calçadas / passeios das edificações na AID.
	**Dispositivo:** Sarjeta na Av. Getúlio Vargas. **Observações:** Apesar de apresentar boas condições de conservação, verificou-se a reincidência de resíduos em todas as sarjetas cadastras, por ausência de limpeza periódica e falhas de manutenção.
	**Dispositivo:** Caixa coletora na Av. Getúlio Vargas. **Observações:** Verificou-se a incorreta disposição da caixa coletora com grelha (dentro da plataforma viária e não nas bordas). Este tipo de locação incoerente ocorre em diversos trechos da AID e foi ocasionada por obras de ampliações posteriores à rede primária de drenagem.
	**Dispositivo:** Boca de lobo dupla na Av. 7 de Setembro. **Observações:** Observa-se a locação equivocada da boca de lobo dupla com grelha no início de uma rampa para cadeirantes e pedestres. Este tipo de locação incoerente ocorre em diversos trechos da AID e foi ocasionada por obras de ampliações posteriores à rede primária de drenagem.

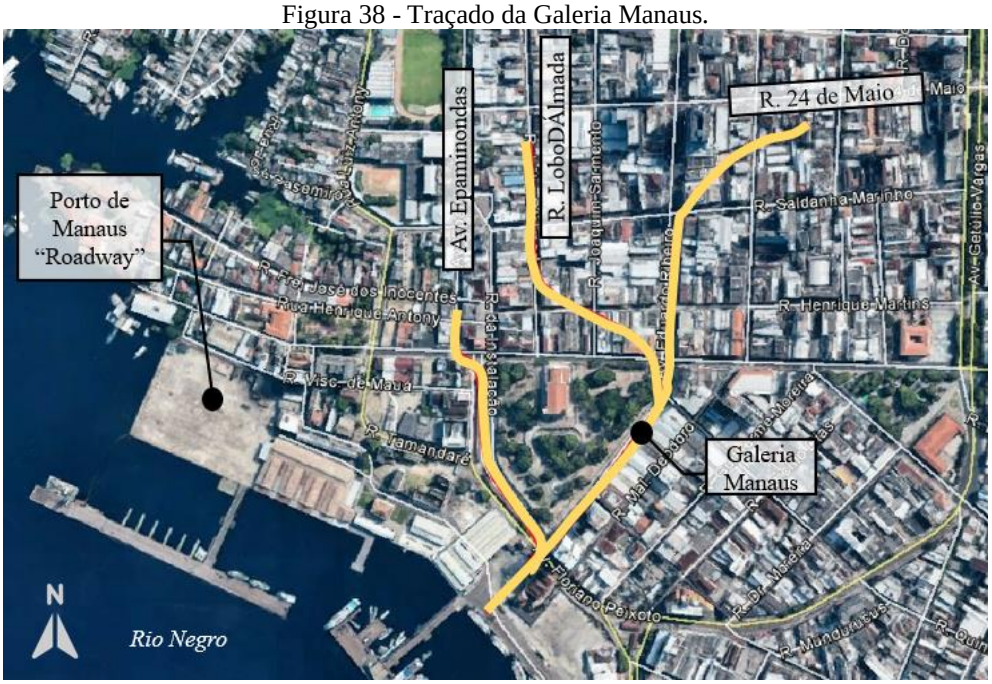
Exemplos de imagens obtidas dos dispositivos de drenagem superficial existentes.	Descrições / Observações
	**Dispositivo:** Poço de visita na Av. Eduardo Ribeiro. **Observações:** Observa-se a interferência entre sinalização horizontal e a tampa do poço de visita, além da ausência de manutenção e limpeza do mesmo. Ademais, ressalta-se que foram identificados na AID, poços de visita sem tampas, devido a extravios da própria população.
	**Dispositivo:** Valeta sem tampa na rua Lima Bacuri. **Observações:** Observa-se de forma recorrente na AID a presença de valetas / canaletas com dimensões que exigem a proteção por grelhas, entretanto, estas não foram previstas. Além disso, verifica-se a presença de resíduos retidos por acúmulo de lixo, ocasionadas por falhas na declividade de implantação do dispositivo e ausência de manutenção e limpeza periódica dos mesmos.

Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

b) Drenagem profunda existente

Além dos dispositivos de drenagem superficial, o sistema na AID é complementado pela Galeria Manaus, também conhecida como Galeria dos Ingleses, que possui cerca de 610 m de extensão em seu tramo principal, desde a Rua 24 de Maio até seu ponto de lançamento para o rio Negro, situado na Av. Eduardo Ribeiro, nas proximidades do Porto de Manaus. As demais ramificações se prolongam até a Rua Epaminondas e a Rua Lobo D'Almada, conforme observado na Figura 32, obtida a partir do tratamento de mapas antigos da cidade e exposto adiante neste relatório.

Figura 38 - Traçado da Galeria Manaus.



Fonte: Adaptado das plantas obtidas no IPHAE/SEDAC e Google Earth, 2021.

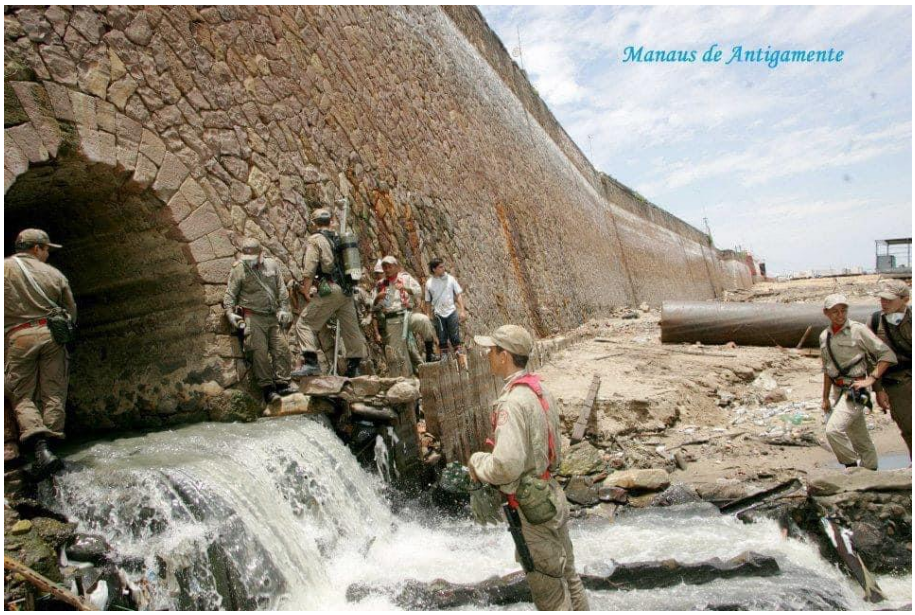
Por se tratar de construção do século XIX, não foram encontrados projetos e demais dados técnicos acerca da galeria, contudo, é sabido que sua construção possui formato de abóbadas em alvenarias de pedras, conforme imagem obtida no acervo do IPHAE/SEDAC (Figura 39).

Figura 39 - Trecho em formato de abóbada da Galeria dos Ingleses.



Fonte: IPHAE/SEDAC, 2005.

Figura 40 – Deságue da Galeria dos Ingleses.



Fonte: Chico Batata, 2005.

Apesar da escassez de informações desta estrutura, conforme registros na mensagem do então governador do estado o senhor Fileto Pires Ferreira, sabe-se que no ano de 1897 foi instalada uma comissão liderada pelo Dr. Aarão Reis com a missão de elaborar um plano geral de saneamento para a capital do Estado, a qual mapearia todas as instalações existentes e proporia as soluções para o abastecimento de água, coleta de esgotos e das águas pluviais. Cabe ressaltar que conforme registrado nesta mensagem do governador, a população de Manaus era estimada em 40 mil habitantes.

Ainda em pesquisa nos arquivos do IPHAE/SEDAC, encontraram-se as plantas dos perímetros urbanos e da rede de esgotos e águas pluviais da cidade de Manaus, datadas do ano 1915, reproduzidas conforme Figura 41, onde podem ser observados os cursos hídricos e quais trechos aterrados na área em estudo.

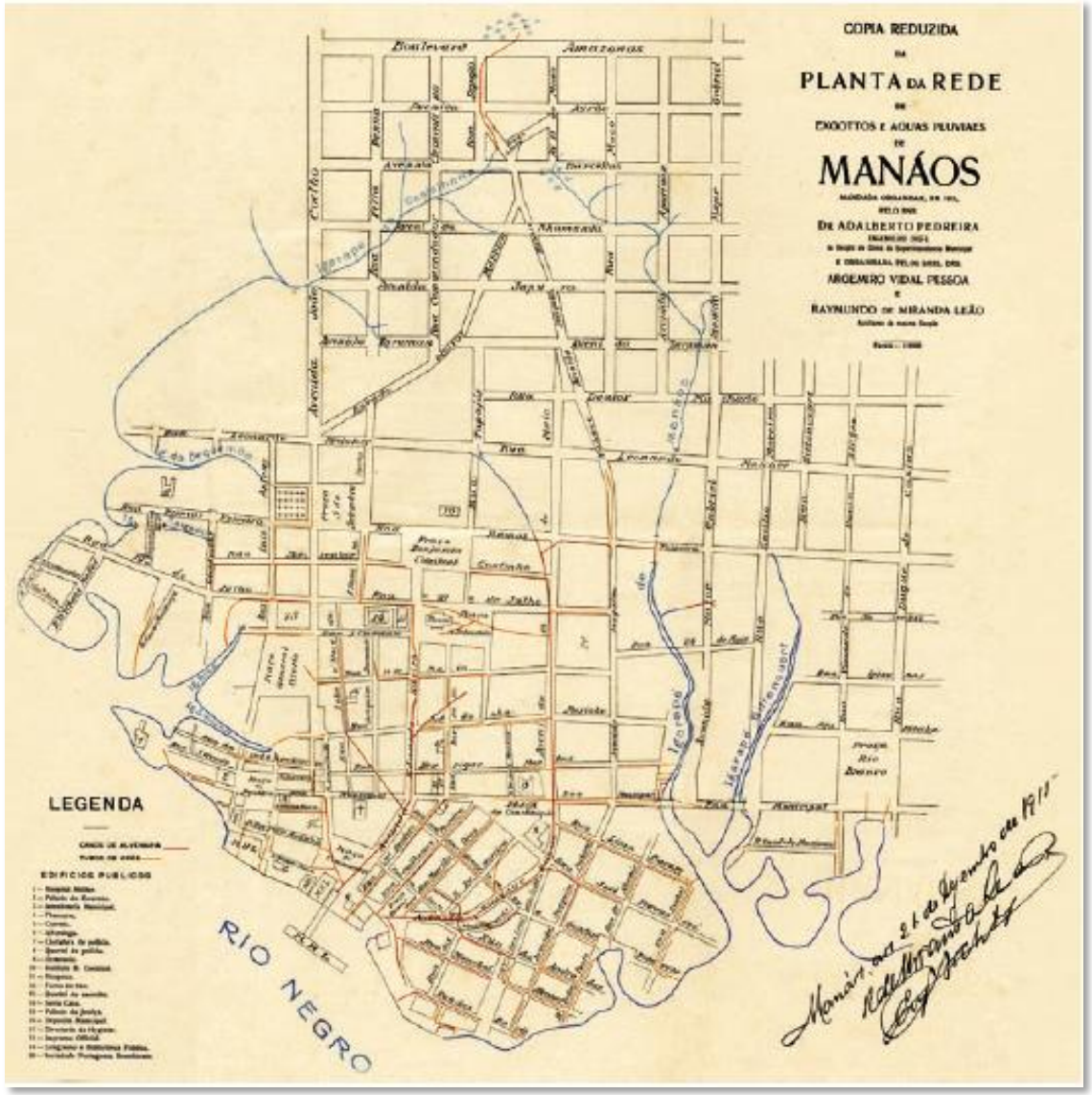
Na planta apresentada na Figura 41 é possível ler que os Igarapés Espírito Santo (Av. Eduardo Ribeiro) e 13 de Maio (Av. Getúlio Vargas) tiveram parte de seus leitos aterrados. O traçado pontilhado em azul foi realçado com auxílio de recursos computacionais buscando-se manter fidedigno ao documento original.

Figura 41 - Planta com o perímetro urbano de Manaus.



Fonte: IPHAE/SEDAC, realce em azul pela Cunha, J. A. C. (2023).

Figura 42 - Planta da rede de esgotos e águas pluviais de Manaus no ano 1915.



Fonte: IPHAE/SEDAC, 2021.

Na planta da Figura 42 não é possível identificar distinção entre as redes de esgoto e águas pluviais projetadas para a cidade no início do século XX. Observa-se que o deságue acontecia nos principais corpos hídricos: rio Negro, igarapé da Castelhana, igarapé da Bica e igarapé de Manaus. É interessante observar ainda que nem todas as ruas do centro antigo, já naquela época, foram dotadas de redes coletoras para esgotos e águas pluviais.

c) Estado de conservação dos dispositivos existentes

Verificou-se que os dispositivos de drenagem encontrados na área em estudo (AID) se encontram em grande parte deteriorados ou em péssimo estado de conservação, seja em função do tempo de uso, seja pela depredação dos usuários, seja pela incompatibilidade entre o sistema de drenagem e o sistema viário ou ainda pela sobrecarga hidráulica (Tabela 38).

Tabela 38 - Exemplos de estado de conservação dos dispositivos de drenagem existentes na AID.

Exemplos de imagens obtidas dos dispositivos de drenagem existentes na AID.	Considerações a respeito do uso e estado de conservação
	Acúmulo de água na sarjeta devido a construção irregular de rampa na Av. Getúlio Vargas.
	Boca-de-lobo obstruída devido ao acúmulo de resíduos. Av. Getúlio Vargas.
	Interferência entre dispositivo de drenagem e pavimento na Rua Governador Vitório.

Exemplos de imagens obtidas dos dispositivos de drenagem existentes na AID.	Considerações a respeito do uso e estado de conservação
	Interferência entre dispositivo de drenagem e pavimento na Av. Epaminondas.
	Obstrução devido a ocupação indevida da calçada na Av. Floriano Peixoto.
	Interferência entre o sistema viário e o de drenagem na Av. Floriano Peixoto.
	Dispositivo recebendo contribuições além das águas de escoamento superficial na Av. Joaquim Nabuco.
	Deficiência na manutenção de dispositivo de drenagem na Av. Joaquim Nabuco.

Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Com base nas evidencias fotográficas e nas visitas de campo realizadas foi possível inferir que para determinar com precisão a vida útil do sistema deverá ser realizado cadastro

minucioso de todos os dispositivos. Tal ação poderá ser realizada em estudo complementar em fase de implantação das intervenções propostas de modo a viabilizar que a solução proposta se integre o máximo possível com o sistema existente, desde que este ainda apresente vida residual compatível com o horizonte de projeto a ser estabelecido.

A planta contendo o traçado do sistema existente pode ser verificada no Apêndice 1. Os trechos fragmentados da rede existente estão assim representados porque correspondem a trechos obstruídos ou que não puderam ser cadastrados no levantamento (Apêndice 14), e por isso, recomenda-se sua desativação após avaliar cada caso conforme respectivo dimensionamento.

De forma geral, a identificação do atual estado de conservação dos dispositivos, viabilizou a proposição de alternativas para o sistema de drenagem como um todo, quantificando-se os casos de necessidade de demolição, desobstrução e limpeza em cada particularidade da rede existente.

A Tabela 39 apresenta as soluções propostas para os dispositivos de drenagem existentes na AID com base nas características de capacidade hidráulica e estado de conservação identificados em campo.

Tabela 39 - Cadastro de dispositivos existentes x soluções propostas.

Características do Dispositivo		Demolição	Desobstrução	Limpeza	Conservação
Estado de Conservação (EC)	Bom				x
	Regular		x	x	
	Ruim	x			
Capacidade Hidráulica (CH)	Atende		x	x	x
	Não Atende	x			
Soluções Propostas:		EC Ruim + CH Não Atende	EC Regular + CH Atende	EC Regular + CH Atende	EC Bom + CH Atende

Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Portanto, a Tabela 40 e Gráfico 24 apresentam os percentuais de soluções propostas para os dispositivos de drenagem existentes na AID:

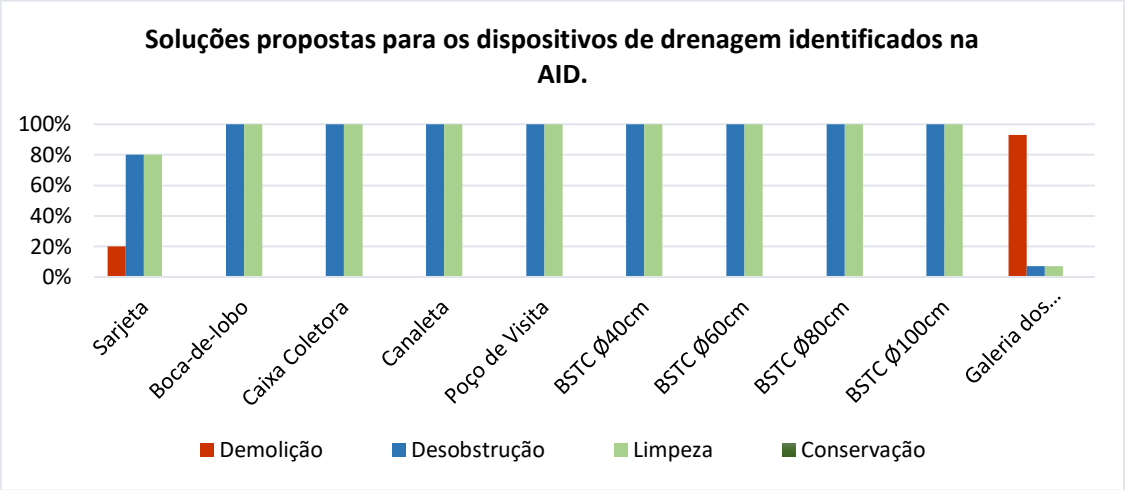
Tabela 40 - Soluções propostas para os dispositivos de drenagem existentes.

Dispositivo	**Quantitativo**	**Demolição**	**Desobstrução**	**Limpeza**	**Conservação**
Sarjeta	31.378,42m	20%	80%	80%	0%
Boca-de-lobo	244,00 und	0%	100%	100%	0%
Caixa Coletora	1.036,00 und	0%	100%	100%	0%
Canaleta	878,00m	0%	100%	100%	0%
Poço de Visita	613,00 und	0%	100%	100%	0%
Bueiro Simples Tubular de concreto Ø40cm	1.496,92m	0%	100%	100%	0%
Bueiro Simples Tubular de concreto Ø60cm	2.002,79m	0%	100%	100%	0%

Dispositivo	Quantitativo	Demolição	Desobstrução	Limpeza	Conservação
Bueiro Simples Tubular de concreto Ø80cm	409,32m	0%	100%	100%	0%
Bueiro Simples Tubular de concreto Ø100cm	265,30m	0%	100%	100%	0%
Galeria dos Ingleses	610,00m	93%	7%	7%	0%

Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Gráfico 24 - Soluções propostas para os dispositivos de drenagem identificados na AID.

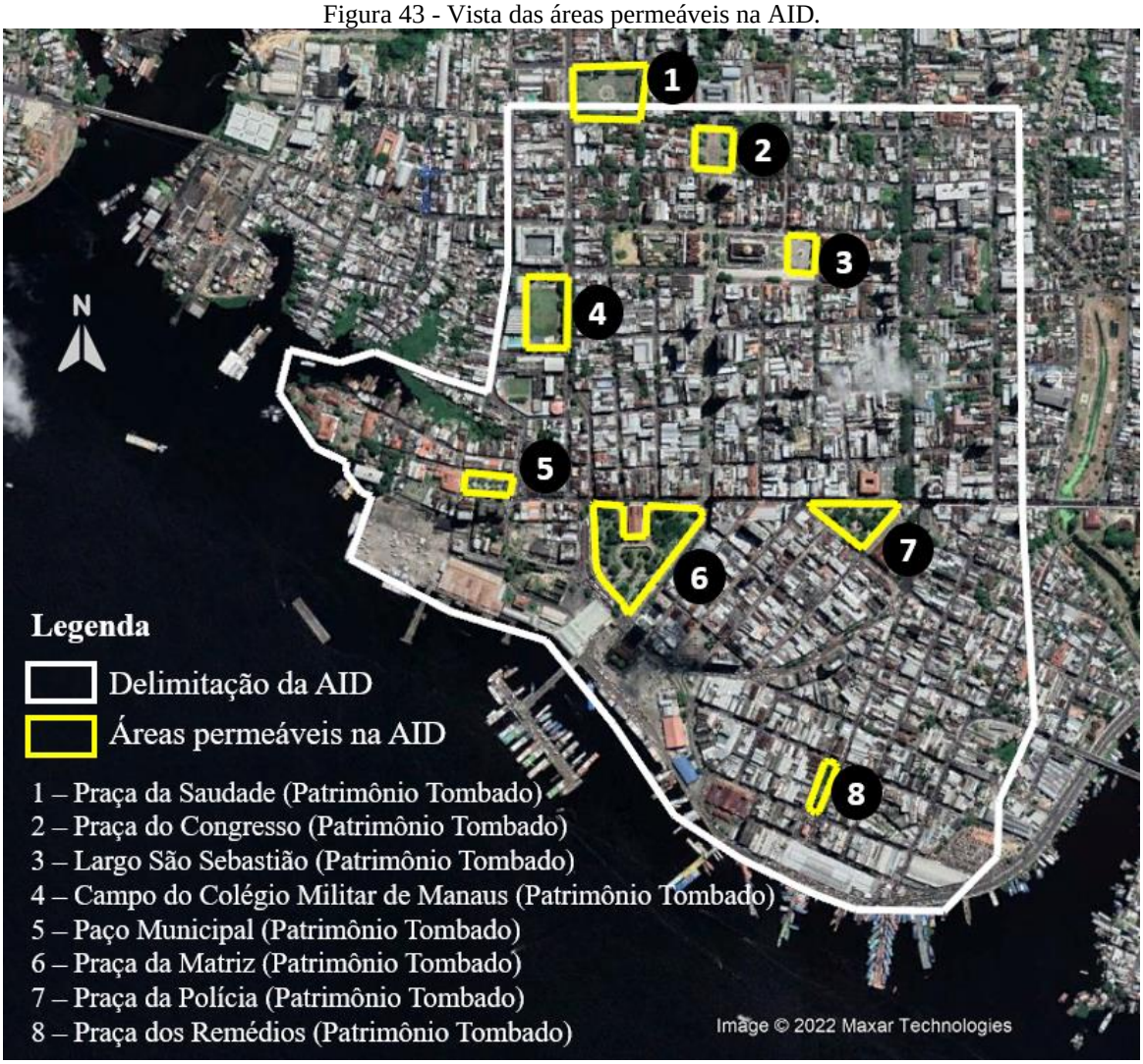


Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Apesar de verificado o precário estado de conservação dos dispositivos, destaca-se que as condições insatisfatórias dos mesmos originam-se da ausência de manutenções preventivas e da incidência de resíduos sólidos que geram a obstrução e incapacidade da rede de drenagem existente. Por outro lado, a rede de drenagem profunda de captação (galeria dos ingleses) apresentou capacidade hidráulica insuficiente, portanto, é requerida a demolição da mesma a partir do cruzamento da Av. Getúlio Vargas com a Av. 07 de Setembro.

No contexto atual, verificou-se que a área em estudo é uma zona urbana consolidada, antropizada e predominantemente pavimentada. Nela não existem lagos, lagoas ou reservatórios artificiais que sirvam como complementos da rede de drenagem. Ademais, todas as áreas identificadas como permeáveis (que viabilizem a implantação de sistema complementar à drenagem local) foram tombadas pelo IPHAE/SEDAC por se tratar de uma área de sítio arqueológico, logo, nenhuma intervenção de engenharia poderá ser considerada ali (Figura 43).

Figura 43 - Vista das áreas permeáveis na AID.



Fonte: Google Earth, adaptado por Cunha, J. A. C. (2023).

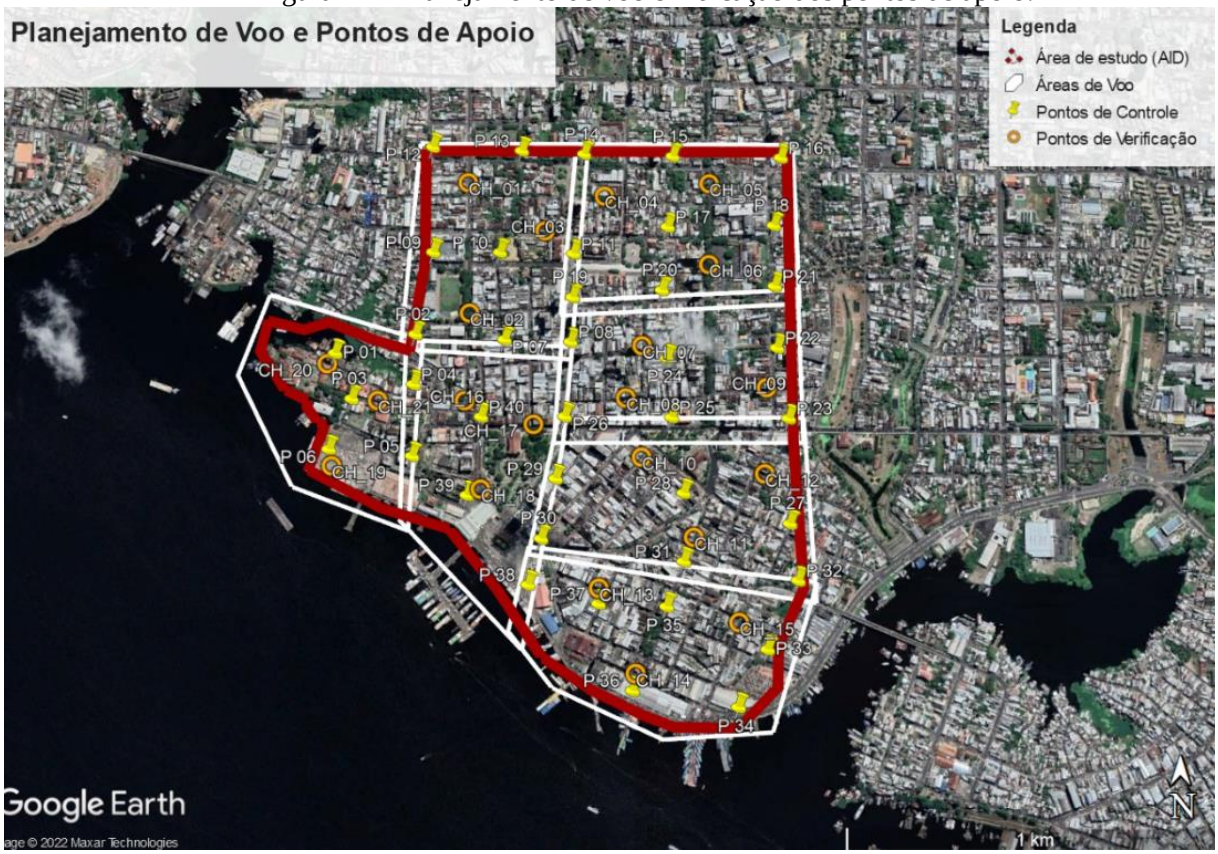
6.4. Mapas de manchas de inundações na AID

Realizou-se o levantamento do modelo digital de terreno da AID a partir da aerofotogrametria, com o uso de drone modelo DJI MAVIC 2 PRO, com câmera da HasselBlad 20 MP e distância focal de 10,26 mm. Os voos foram planejados no software Drone Deploy, contabilizados em 7 a 120 metros de altura cada e com 75% de sobreposição lateral e longitudinal, obtendo aproximadamente um GSD (GROUND SAMPLE DISTANCE) de 3.00 cm/pix. Datum WGS84, EPSG 31980, Sistema de Projeção Cartográfica SIRGAS 2000/ UTM ZONA 20 S.

Para correção do erro posicional do levantamento feito pelo drone, foram utilizados 61 pontos de apoio no solo (Figura 44), espalhados pela AID em formato de cruz com dimensões de aproximadamente 50cm (Figura 45), sendo 40 de pontos de controle e 21 pontos de verificação. Os pontos de apoio foram levantados com receptor GNSS Trimble R4 RTK –

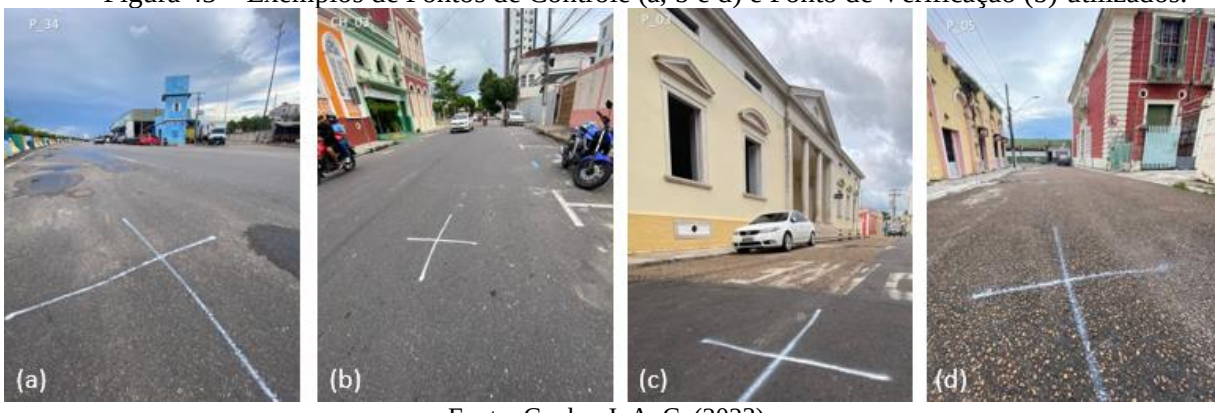
Model 03, contendo BASE e Rover. Os voos foram feitos entre 09:30h a 15:30h (janela de voo para a cidade de Manaus), evitando assim a captura de sombras durante o voo, o que poderia prejudicar a coleta de dados fotogramétricos.

Figura 44 – Planejamento de voo e indicação dos pontos de apoio.



Fonte: Google Earth, adaptado por Cunha, J. A. C. (2023).

Figura 45 – Exemplos de Pontos de Controle (a, b e d) e Ponto de Verificação (b) utilizados.



Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

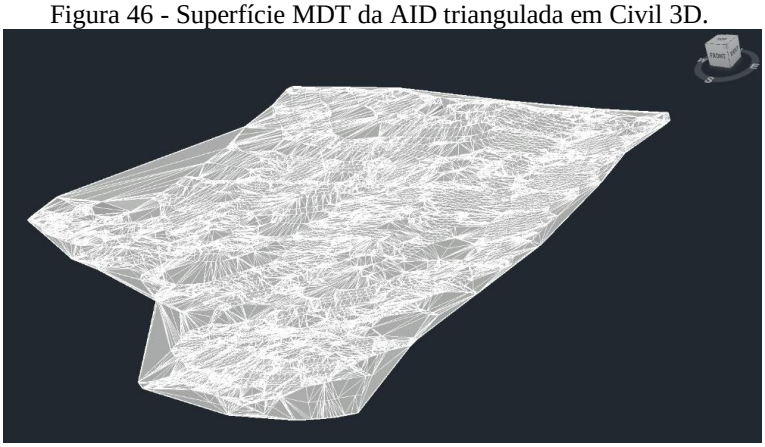
As imagens capturadas pelo equipamento foram processadas no software Agisoft Metashape Professional 1.7.0 (2021), utilizando uma máquina com processador Intel Core i7-9700, 64 GB de memória RAM e placa de vídeo NVIDIA GeForce GTX 1050 Ti.

Após o processamento dos dados fotogramétricos e correção do erro posicional pelos pontos de apoio, obtiveram-se as curvas de nível geradas através do Modelo Digital de Terreno

(MDT) que por sua vez formaram uma nuvem densa de pontos com aproximadamente 750 milhões de pontos georreferenciados.

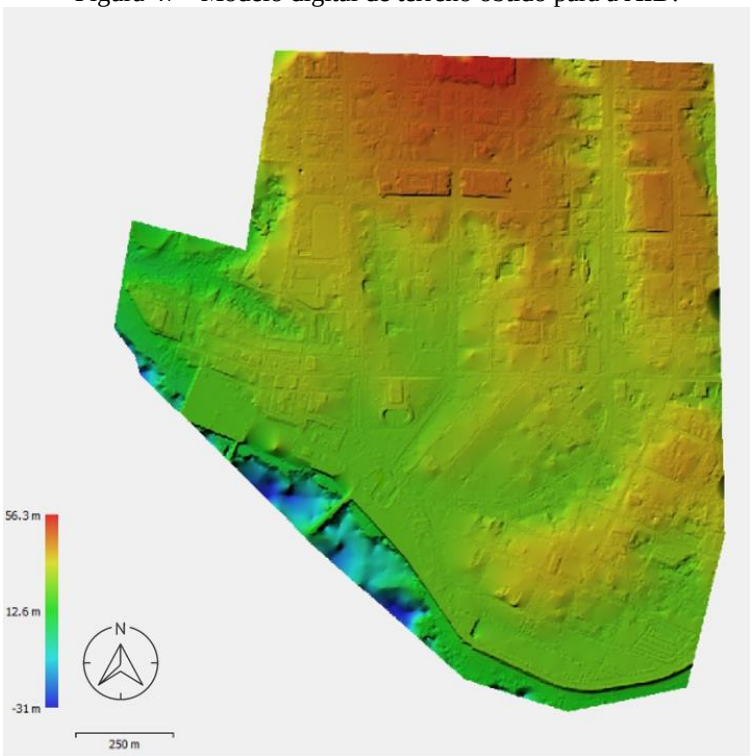
O Civil 3D permitiu a importação dados topográficos para a geração do modelo digital de terreno, evidenciado nas Figuras 46 e 47, através do MDT da AID manipulada através do respectivo software, versão 202 (Figuras 46 e 47).

Figura 46 - Superfície MDT da AID triangulada em Civil 3D.



Fonte: Civil 3D-v.2021; adaptado por Cunha, 2023.

Figura 47 - Modelo digital de terreno obtido para a AID.



Fonte: Civil 3D-v.2021; adaptado por Cunha, 2023.

Visando a análise das áreas diretamente afetadas na região de estudo e considerando as cotas de inundação previstas para os tempos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos, modelaram-se os mapas utilizando-se do MDT obtido e das cotas de inundações calculadas para a região de estudo, conforme Tabela 41.

Tabela 41 - Níveis máximos e tempos de retorno correspondentes.

Tempo de recorrência (anos)	Nível da régua (m)
5	29,37
10	30,00
25	30,84
50	31,48
100	32,11

Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Entretanto, ressalta-se que as leituras efetuadas na régua do Porto referem-se a um sistema de cotas arbitrárias, criado quando da implantação da régua, no início do século XX. Após um levantamento topográfico de detalhe na zona urbana de Manaus, verificou-se que as leituras na régua representavam valores de 6,83m acima da cota ortométrica, ou seja, a cheia histórica do rio Negro deste ano atingiu a altitude (cota) de 23,19m acima do nível do mar. No entanto, devido ao uso secular dessas cotas arbitrárias, elas continuam sendo utilizadas como referências das cheias.

Ademais, as cotas obtidas no MDT, também foram arbitrárias e a correção entre estas e o modelo digital de terreno foi de 4,37m, obtendo-se, portanto, a relação entre cotas da régua localizada no Porto de Manaus e o levantamento aerofotogramétrico executado na região de estudo. Apresenta-se, portanto, na Tabela 42 a correção entre cotas para os tempos de retorno analisados.

Tabela 42 - Correlação de níveis máximos na régua x MDT.

Tempo de recorrência (anos)	Nível da régua (m)	Cota no MDT (m)
5	29,37	33,74
10	30,00	34,37
25	30,84	35,21
50	31,48	35,85
100	32,11	36,48

Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

As Figuras 48, 49, 50, 51 e 52 apresentam as manchas de inundações previstas para os tempos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos, respectivamente (Apêndices 18, 19, 20, 21 e 22). A partir das manchas elencadas, verifica-se a vulnerabilidade de áreas na AID localizadas abaixo das cotas de inundações previstas, interferindo de forma assertiva na área adjacente ao curso hídrico do rio Negro. Dessa forma, observa-se que toda a parte baixa do centro histórica apresenta riscos de inundações, não apenas pela intervenção das chuvas, mas principalmente, pela dificuldade de declividade suficiente para fins de escoamento contínuo da rede de drenagem existente.

Figura 48 - Mancha de Inundação - TR 5 anos.



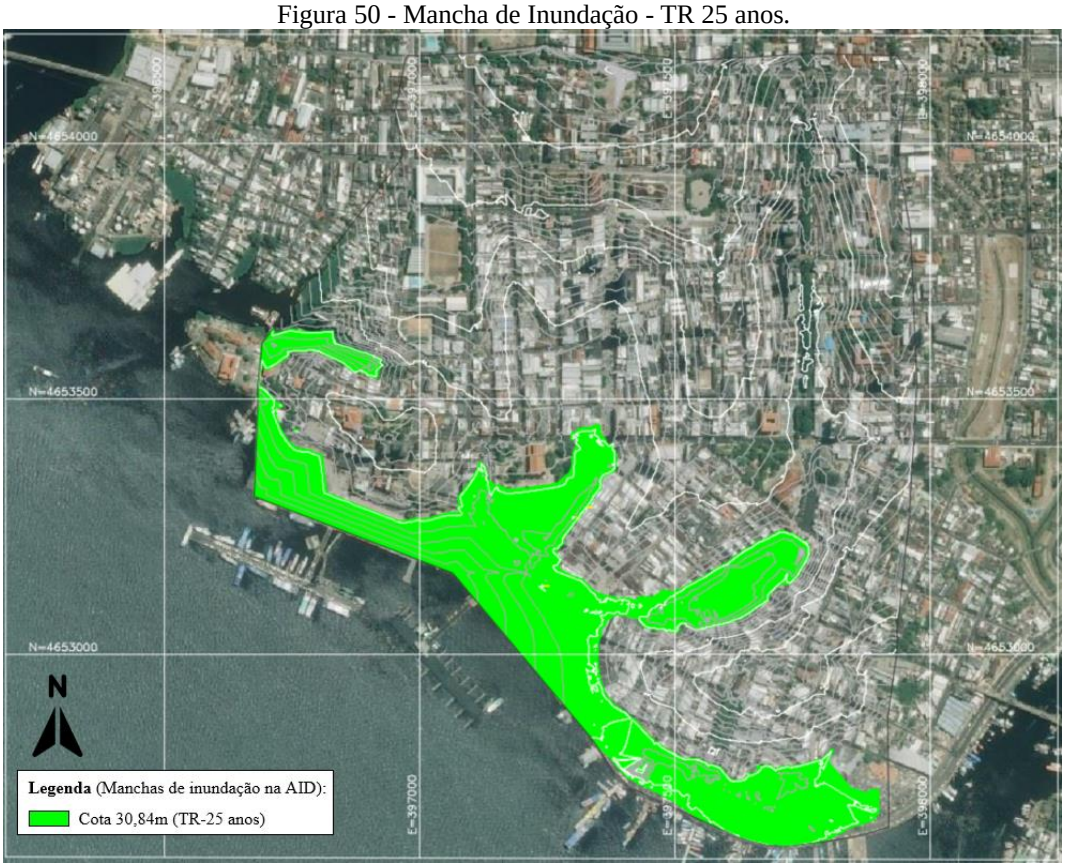
Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Figura 49 - Mancha de Inundação - TR 10 anos.



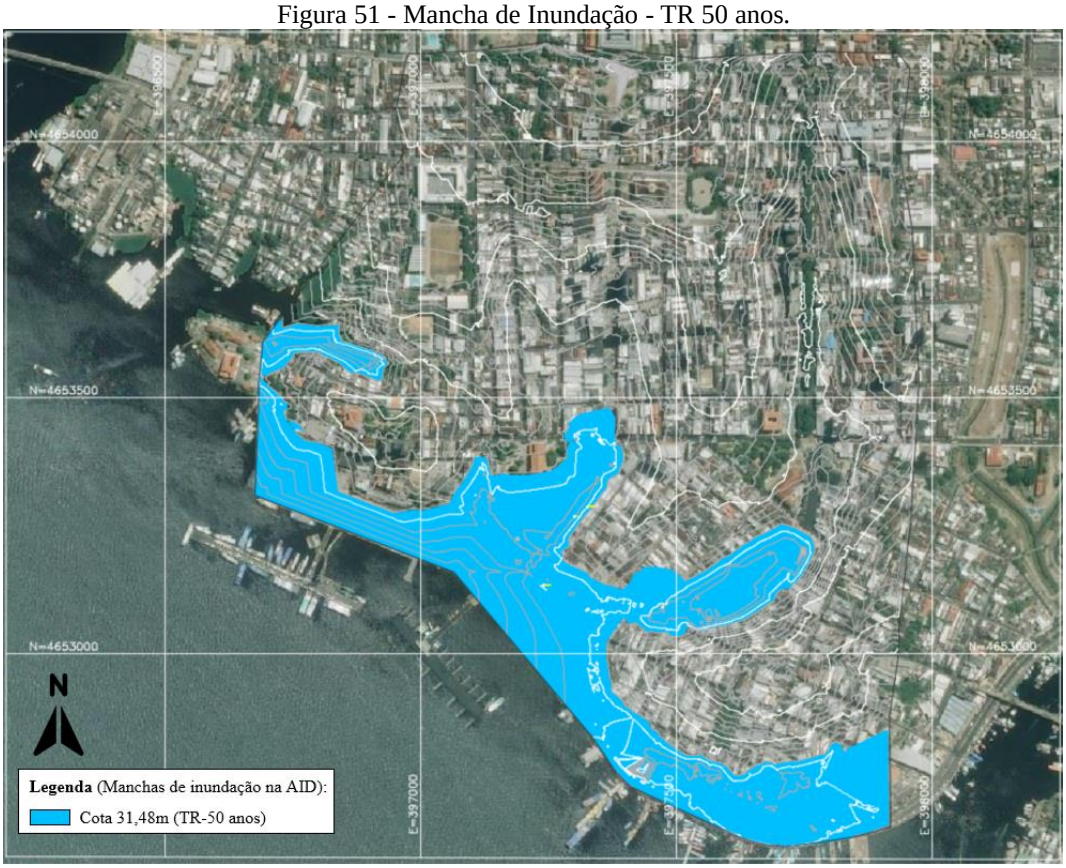
Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Figura 50 - Mancha de Inundação - TR 25 anos.



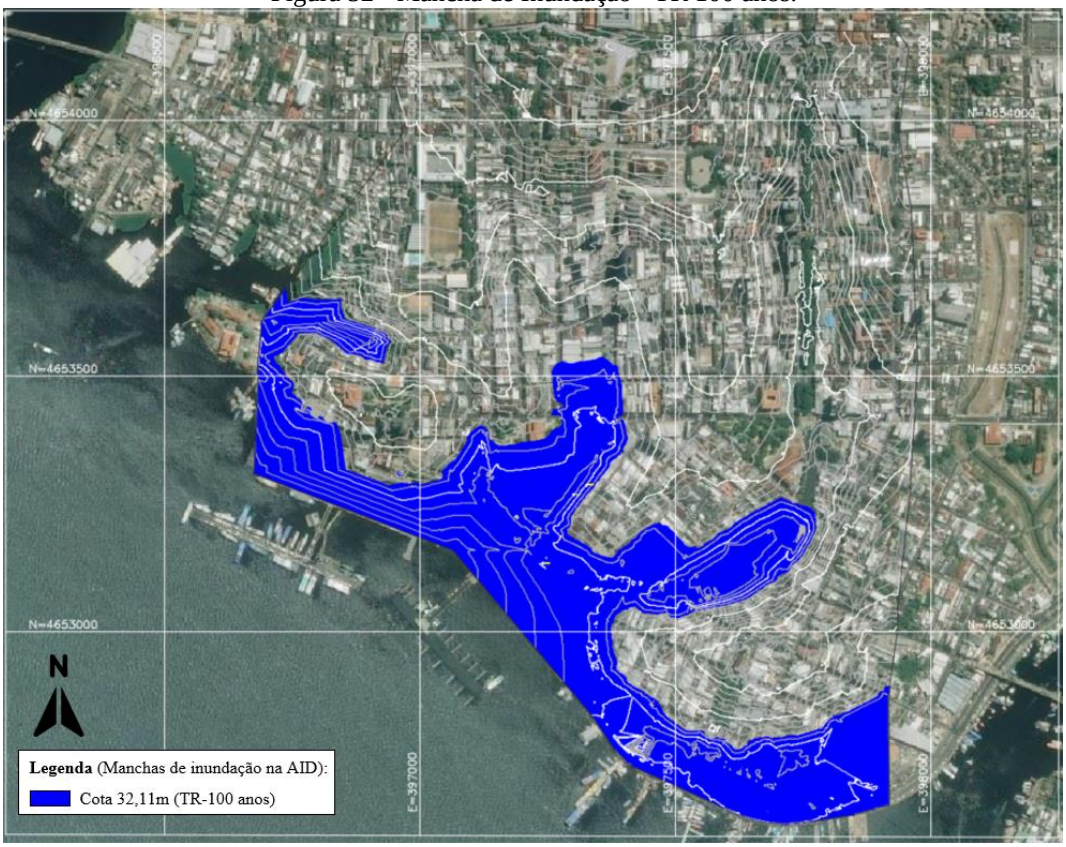
Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Figura 51 - Mancha de Inundação - TR 50 anos.



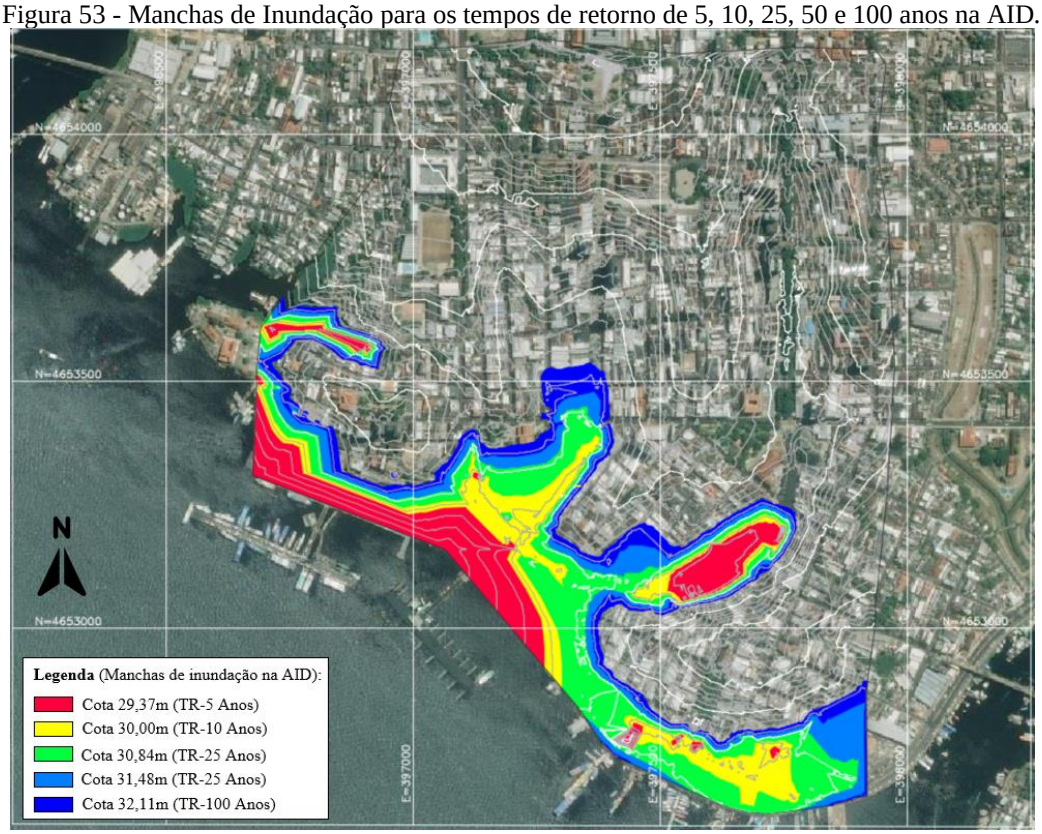
Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Figura 52 - Mancha de Inundação - TR 100 anos.



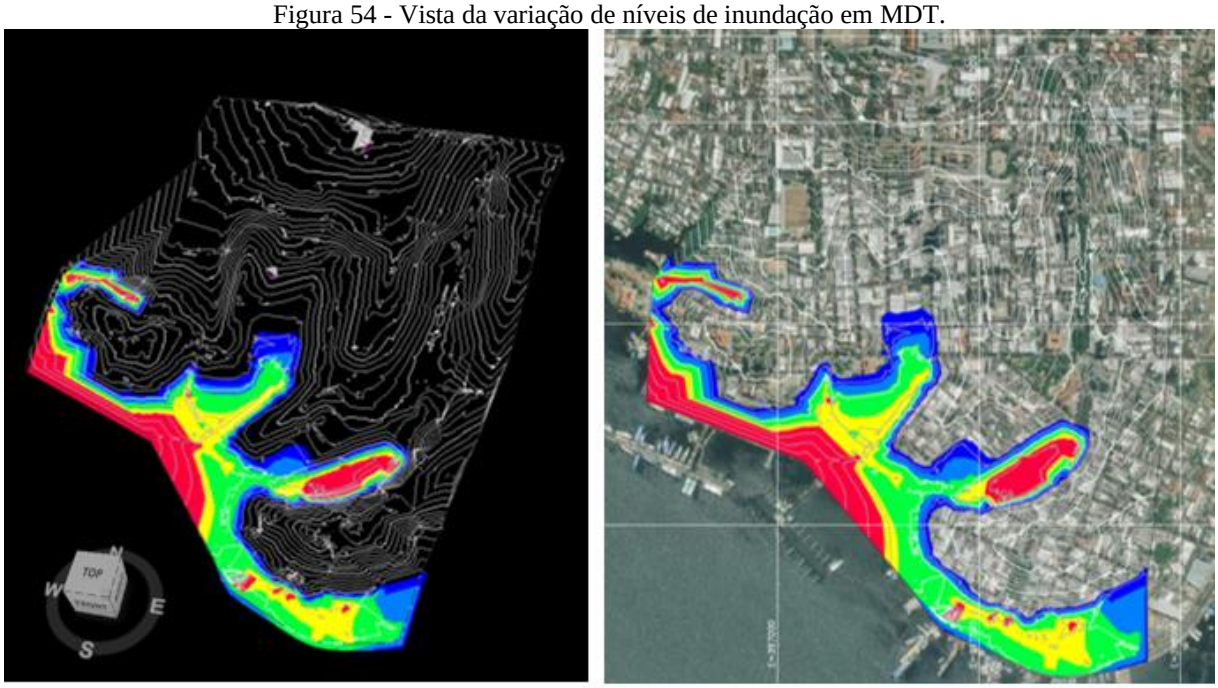
Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Figura 53 - Manchas de Inundação para os tempos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos na AID.



Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Figura 54 - Vista da variação de níveis de inundação em MDT.



Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

6.5.Proposição de alternativas para o sistema de drenagem na AID

A proposição de alternativas para o sistema de drenagem existente baseou-se no Manual de apresentação de propostas para sistemas de drenagem urbana sustentável e de manejo de águas pluviais do Ministério do Desenvolvimento Regional (Secretaria Nacional de Saneamento) inserido na sistemática PPA 2020-2023 (Programa 2218) da Gestão de Riscos e Desastres do Governo Federal.

Descrevem-se a seguir as características intrínsecas a cada opção de solução para ampliação/melhoria dos sistemas de drenagem urbana realizando-se um comparativo com viabilidade de implementação da alternativa na área de estudo do presente projeto (AID):

a) Reservatório de amortecimento de cheias

São estruturas dimensionadas para reservar temporariamente as águas pluviais, amortecer as vazões de cheias e reduzir os riscos de enchentes a jusante, e em alguns casos, podem ser utilizados para tratar a poluição carregada pela água ou ainda, adquirir funções paisagísticas para se integrar mais harmoniosamente ao ambiente urbano (CORSINI, 2011).

Sua configuração pode ser em linha ou lateral, conforme o posicionamento relativo ao canal que contribui para o reservatório. Podem também ser estruturas enterradas.

Ainda segundo Corsini, são três fatores principais a serem considerados no dimensionamento dessas estruturas: seu volume (e consequentemente a área de instalação e

altura da lâmina d'água dentro do reservatório), o dispositivo de descarga (geralmente um orifício que diminui a vazão de saída comparada com a vazão de entrada, por isso acontece o acúmulo temporário) e um vertedouro de segurança para permitir a passagem da água por cima do reservatório no caso de ocorrer uma chuva maior do que aquela que serviu de parâmetro para o dimensionamento.

Como exemplos bem-sucedidos dessa alternativas destacam-se na região metropolitana de São Paulo:

- **Reservatório da praça Charles Muller:** inaugurado em agosto de 1995, com capacidade para 74.000 m^3, em frente ao Estádio Municipal do Pacaembu. Segundo Porto (2008), a vazão máxima suportada pelo sistema de drenagem existente na avenida Pacaembu era de 13 m^3/s, no entanto, a vazão contribuinte na praça era de 43 m^3/s, e o custo para ampliação do sistema existente foi estimado em torno de 35 milhões de dólares, enquanto que o custo do reservatório foi da ordem de 8 milhões de dólares (Figura 55).

Figura 55 - Reservatório de amortecimento da Praça Charles Muller (enterrado) em São Paulo.



Fonte: Google Earth, 2023.

Conforme pode ser observado no Apêndice 30 foram propostos três reservatórios subterrâneos de retenção: o primeiro na esquina da rua Governador Vitório com a Visconde de Mauá, o segundo em um pátio de manobras do Porto de Manaus e o terceiro em uma área de estacionamento próximo à feira da Banana (Manaus Moderna).

b) Parque linear ribeirinho

Trata-se de um Parque construído em uma faixa ao longo de um corpo hídrico. Dentre suas funções, destacam-se: proteger as margens do corpo hídrico contra ocupações irregulares que possam confinar e reduzir a área destinada a inundação, proteger as margens contra erosão, restaurar as áreas de várzeas, recompor a vegetação ciliar, reduzir a velocidade de escoamento, reduzir a poluição difusa, aumentar a área verde, aumentar a disponibilidade de áreas de lazer para a população.

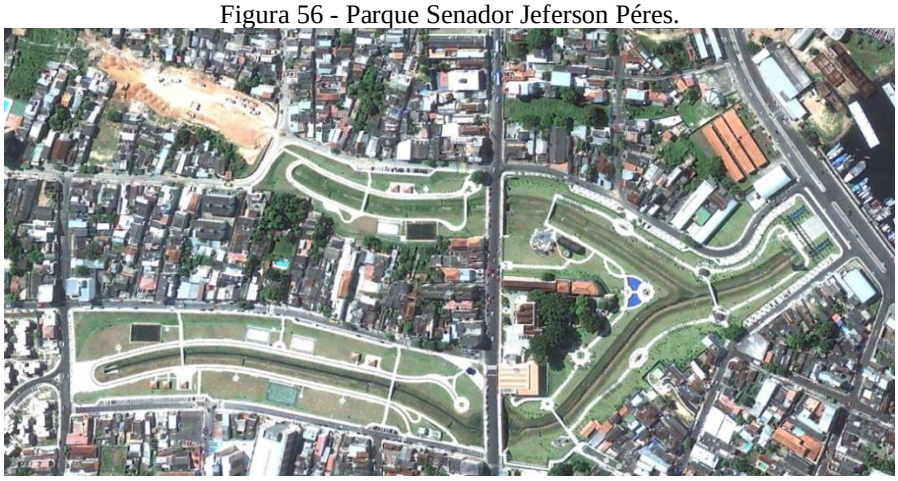
Recomenda-se que os parques lineares abranjam as áreas de preservação permanente (APP), conforme estabelecidas pela Lei n.º 12.651, de 25 de maio de 2012 a qual estabelece no inciso II de seu artigo 3º que a APP é uma área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem estar das populações humanas.

No artigo 4º desta mesma Lei, são estabelecidas as larguras mínimas, para cada lado da calha do leito regular, das APPs:

- 30 m para os cursos d'agua com menos de 10 m de largura;
- 50 m para os cursos d´água que tenham de 10 a 50 m de largura;
- 100 m para os cursos d'água que tenham de 50 a 200 m de largura;
- 200 m para os cursos d'água que tenham de 200 a 600 m de largura;
- 500 m para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 m.

Na cidade de Manaus, foi inaugurado em 1º de setembro de 2009, o Parque Senador Jeferson Péres, situado entre a avenida Sete de Setembro e a rua Lourenço da Silva Braga (a leste da área do estudo de concepção). O parque (Figura 56) possui uma área de 53.421 m^2 sendo banhado pelos igarapés de Manaus e do Bittencourt.

Figura 56 - Parque Senador Jeferson Péres.



Fonte: Google Earth, 2023.

Outro exemplo de parque linear construído em Manaus é o Parque Municipal Ponte dos Bilhares (Figura 57), ou simplesmente Parque dos Bilhares, inaugurado em 24 de outubro 2006. Está situado entre as avenidas Constantino Nery e Djalma Batista. Possui cerca de 60.000 m^2 sendo banhado pelo igarapé do Mindú.

Figura 57 - Parque Municipal Ponte dos Bilhares.



Fonte: Google Earth, 2023.

Conforme observado no mapa do perímetro urbano de Manaus no ano de 1915 apresentado na seção 6.3, os corpos hídricos inseridos dentro do perímetro da área em estudo eram o igarapé do Aterro 13 de Maio (atual Av. Getúlio Vargas) e igarapé Espírito Santo (atual Av. Eduardo Ribeiro). Devido ao fato de estes terem sido canalizados àquela época, considerando a elevada concentração demográfica na região e inúmeras interferências com demais sistemas, além do fato de o perímetro em estudo coincidir com a poligonal de tombamento do IPHAN (Apêndices 23 e 24), não foi considerada a alternativa para implantação de parques lineares para os igarapés adjacentes à AID.

c) Parque isolado associado a reservatório de amortecimento de cheias ou área para infiltração de águas pluviais

Refere-se a um parque situado em posição estratégica na bacia hidrográfica com a função de aumentar a área permeável e amortecer as vazões das cheias, reduzindo a necessidade de ampliação da capacidade do sistema de drenagem a jusante. Sua concepção deve promover a infiltração das águas de chuva e contar com lagos projetados para amortecer o escoamento.

Conforme exposto no item anterior, devido a poligonal de tombamento do IPHAN e elevada densidade demográfica no local, não foi considerada a implantação de parque isolado associado a reservatório de amortecimento. Para fins de redução do o pico de enchente foram propostos reservatórios subterrâneos de detenção na AID.

d) Recuperação de áreas úmidas (várzeas)

Descrevem-se como ações desenvolvidas para recompor as áreas de inundação natural de córregos, riachos e rios. Podem estar associadas a parques lineares e são alternativas para áreas ribeirinhas que não são densamente ocupadas. A recuperação das áreas de várzeas contribui para reduzir as cargas poluidoras de fontes difusas e restaurar o ecossistema ribeirinho.

Conforme apontado pelo DAEE/SP (Departamento de Águas e Energia Elétrica), em 2008, o projeto Várzeas do Tietê, quando concluído, será o maior parque linear do mundo. O

projeto completo conta com 75 km de extensão e área total de 107 km^2. O investimento total previsto é da ordem de R$ 1,7 bilhão e a população diretamente beneficiada de 3 milhões de pessoas. No período de 1998 a 2008, no âmbito deste programa, foram construídos 41 "piscinões" (reservatórios de amortecimento), dos quais 24 foram financiados pelo estado de São Paulo e 17 pelas prefeituras de São Paulo e as do Grande ABC (Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul).

A área de várzea do rio Negro que coincide com a orla da cidade está ocupada por importantes instalações como o Porto de Manaus, o prédio da Alfândega, o mercado municipal Adolpho Lisboa, a feira da Manaus Moderna além das edificações particulares que servem como moradia e comércio. Considerando ainda que toda a orla, no perímetro do estudo, encontra-se protegida por gabiões e muros de arrimo, não foi considerada a recuperação desta área de várzea. Importante ressaltar que as ruas detectadas como áreas frequentemente inundadas estão inseridas nesse contexto, e portanto, para combater a problemática das inundações o estudo de concepção prevê a desconexão dos descartes diretos no Rio Negro para o reservatório de detenção Nº 003 (vide apêndice 30), dessa forma, o efeito de vasos comunicantes não mais ocorreria.

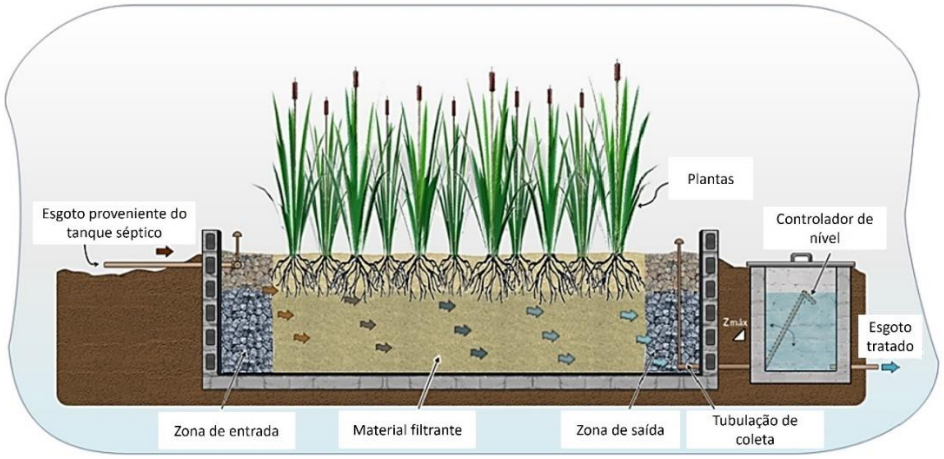
Banhados construídos (Wetlands)

Wetland é o termo que designa a tecnologia desenvolvida na Alemanha nos anos 1950 como técnica passiva de tratamento secundário e terciário de esgotos. São utilizadas plantas aquáticas (macrófitas) em substratos (areia, solo ou cascalho) onde ocorre a proliferação de biofilmes que agregam populações variadas de micro-organismos responsáveis por realizar o tratamento de águas residuárias por meio de processos:

- Físicos (filtração, sedimentação, volatilização);
- Biológicos (degradação e absorção pelos micro-organismos, decaimento de patógenos, extração pelas plantas);
- Químicos (adsorção, oxidação, redução, precipitação, quelação).

Em síntese, trata-se de um processo em fluxo vertical descendente onde, primeiramente o efluente deve passar por um tratamento primário (por exemplo, uma fossa séptica), e então é direcionado para a zona onde estão as raízes das macróficas (por exemplo, copo-de-leite). Abaixo da zona das raízes está uma camada filtro composta por brita (usualmente utiliza-se a de n.° 2) e um colchão de areia (granulometria média a grossa). O efluente é então coletado por outra tubulação para posterior descarte.

Figura 58 - Esquema de funcionamento de um jardim filtrante – sistema wetland.



Fonte: Sezerino e Pelissari, 2018.

O efluente a ser tratado deve passar por tratamento primário para que não ocorra a colmatação das camadas drenantes. Um sistema bem dimensionado e construído é livre de odores e integra-se perfeitamente à paisagem do entorno, desde que sejam realizadas as devidas manutenções (poda das plantas, remoção de plantas invasoras, folhas secas, entre outros cuidados semelhantes para jardins).

A ausência de odores deve-se ao fato de o processo de tratamento ser predominantemente aeróbio (aeração passiva), portanto, não estão presentes as rotas formadoras de gás sulfídrico (H_2S), diferentemente dos sistemas anaeróbios, onde não há o controle do biogás produzido.

O presente trabalho considerou a utilização de *wetlands* nas ruas destinadas ao trânsito de pedestres: Guilherme Moreira, Marcílio Dias, Marechal Deodoro e Teodoreto Souto.

e) Restauração de margens

O processo de restauração de margens dos corpos hídricos varia conforme a severidade da degradação de cada caso e incluem os serviços: retaludamento, revegetação, revestimento e estruturas de contenção.

Segundo BRIGHETTI e MARTINS (2001), os métodos convencionais de proteção de margens usualmente empregados podem ser divididos em dois grupos (Tabela 43): as proteções diretas ou contínuas e as proteções indiretas ou descontínuas.

Tabela 43 - Tipos de Restaurações de margens.

PROTEÇÃO	DIRETAS OU CONTÍNUAS	INDIRETAS OU DESCONTÍNUAS
MÉTODO	Apoiados ou executados diretamente no talude das margens. São as obras de adequação de um talude de sustentação mais reduzido, vários tipos de revestimentos e redes de drenagens para redução de infiltração	Obras construídas a certa distância das margens para desviar as correntes e provocar a decantação de material sólido transportado pela água, sendo a solução em casos nos quais o solo não suporte intervenções

PRINCIPAIS OBRAS	Redução de ângulo de talude, revestimento das margens com pedregulho, cascalhos, pedra britada, vegetação, revestimento asfáltico, enrocamento com pedras lançadas, gabiões, cortinas contínuas e muros	Espigões e diques

Fonte: BRIGHETTI e MARTINS (2001).

A orla da cidade de Manaus, no contorno compreendido entre as ruas Luiz Antony e Avenida Joaquim Nabuco está completamente protegida por gabiões, muros de arrimo e demais contenções (Figura 59), conforme ilustrado a seguir:

Figura 59 - Foto do Porto de Manaus durante a vazante.



Fonte: Porto de Manaus, 2009.

Considerando que toda a orla da cidade, no perímetro do estudo, encontra-se protegida por gabiões e muros de arrimo, não foi considerada a alternativa de restauração de margens.

f) Recomposição de vegetação ciliar

Consiste na recuperação da vegetação ao longo da faixa de APP quando a vegetação tiver sido removida por ação antrópica. Poderá ser realizada por meio do plantio de espécies originárias da região ou pelo isolamento da área, após a remoção das espécies exóticas, para que a vegetação se recomponha naturalmente.

Conforme exposto anteriormente, esta ação já ocorreu para a implantação do parque Senador Jeferson Peres e portanto, não foi considerada no presente estudo.

g) Renaturalização de rios ou córregos

Consiste em promover as condições necessárias para que o curso d'água recupere suas condições naturais. Os principais benefícios desta técnica são a redução do pico de cheias, a diminuição de processos erosivos, a melhoria da qualidade da água e o restabelecimento do ecossistema.

Conforme exposto anteriormente, os dois cursos d'água inseridos dentro da área de estudo foram canalizados entre o final do século XIX e início do século XX. Aliado ao fato de grande parte da área em estudo estar inserida no perímetro de tombamento do IPHAN e que

para renaturalizar esses corpos hídricos seriam necessário a demolição de algumas edificações tombadas, esta alternativa não foi considerada no estudo de concepção.

h) Bacias de contenção de sedimentos

Trata-se de reservatórios ou tanques implantados em pontos estratégicos do sistema de drenagem (pontos de quebra de greide ou de inflexão de declividade) que, através da redução da velocidade de escoamento, promovem a sedimentação dos sólidos suspensos nas águas pluviais.

Os reservatórios de detenção propostos não desempenham o mesmo papel das bacias de contenção de sedimentos, no entanto, devido as proporções da área de estudo e o elevado nível de impermeabilização, é possível inferir que estes reservatórios contribuirão para reter sedimentos que porventura sejam carreados pelas águas pluviais.

i) Dissipadores de energia

Os dissipadores de energia são estruturas construídas para reduzir a energia do escoamento das águas para proteger contra erosão, os trechos a jusante dos segmentos canalizados. São recomendados nos seguintes casos:

- Desemboque de galerias, canaletas, bueiros, escadas hidráulicas ou canais em rios ou córregos naturais;
- Transição entre segmentos canalizados e não canalizados;
- Em todos os casos em que houver risco de erosão por alteração no regime antecedente de escoamento.

O presente estudo prevê a instalação de dissipadores de energia em todos os pontos de descarte da rede. Vide apêndice 30.

j) Adequação de canais para retardamento do escoamento

Neste contexto, destacam-se as seguintes alternativas:

- Soleiras submersas: barramentos instalados abaixo da linha de água que promovem a elevação do nível da água;
- Degraus: reduzem a declividade do canal;
- Aumento da rugosidade do revestimento: reduz a velocidade de escoamento em virtude do maior atrito com a superfície dos revestimentos;
- Ampliação da seção e redução da declividade: técnicas adotadas para diminuir a velocidade de escoamento.

As intervenções estruturais nas calhas dos canais têm a finalidade de reduzir a velocidade de escoamento e assim, retardar os picos de cheia, reduzindo os riscos de inundação

a jusante. Tais ações já foram tomadas para o igarapé Bittencourt e de Manaus, quando da implantação do Parque Senador Jeferson Peres. Importante ressaltar que este situa-se fora a área delimitada para a AID.

k) Desassoreamento de rios e canais

Consiste nos serviços de limpeza e remoção dos sedimentos acumulados para o aumento da capacidade de escoamento. É imprescindível realizar ações que evitem a desestabilização das margens. Devem ser elaborados estudos de controle dos impactos a jusante em virtude do aumento da capacidade hidráulica do canal.

Semelhante ao item anterior, tais ações já foram tomadas para o igarapé Bittencourt e de Manaus, quando da implantação do Parque Senador Jeferson Peres. Importante ressaltar que este situa-se fora a área delimitada para o estudo de concepção.

l) Canalização de córregos quando associada a obras e ações não estruturais que priorizem a retenção, o retardamento e a infiltração das águas pluviais

A canalização de córregos pode transferir as inundações para jusante da área de intervenção devido ao incremento na velocidade de escoamento, o que poderá originar processos erosivos caso não sejam estabelecidas medidas de controle que promovam a retenção, o retardamento e/ou a infiltração das águas pluviais.

Semelhante ao item anterior, tais ações já foram tomadas para o igarapé Bittencourt e de Manaus, quando da implantação do Parque Senador Jeferson Peres. Importante ressaltar que este situa-se fora a área delimitada para a AID.

m) Sistemas para aproveitamento das águas pluviais

São sistemas que permitem a reutilização das águas pluviais armazenadas em reservatórios de amortecimento ou microreservatórios para a lavagem de pisos, rega de jardins, bacias sanitárias e demais usos que não requeiram água potável. Recomenda-se a adoção de um pré-tratamento (geralmente adição de cal) cuja capacidade deve ser estabelecida a partir da qualidade das águas utilizadas e da qualidade requerida pelo uso.

Com o advento do tema sustentabilidade como requisito de uso inteligente das edificações, essa alternativa poderá ser implementada por cada propriedade inserida dentro da área de estudo com o objetivo de reduzir suas demandas de água potável da concessionária.

n) Controle de enchentes e erosões provocadas pelos efeitos da dinâmica fluvial incluindo a construção de espigões, muro de proteção, diques de contenção e outros tipos de obras

Espigões são estruturas transversais que avançam desde a margem, em direção ao eixo do escoamento(FIG. 4.11), até o limite adequado para exercer sua proteção ou linha de margem desejada (BRIGHETTI e MARTINS, 2001).

Já os diques são obras que se desenvolvem no sentido longitudinal do curso d'água que, quando construídos junto às margens constituem proteção para estas. Quando sua construção se faz distante das margens faz-se necessário a implantação de diques transversais como estruturas de conexão entre o dique e a margem.

Considerando que toda a orla da cidade, no perímetro do estudo, encontra-se protegida por gabiões e muros de arrimo, não foi considerada esta alternativa na proposições de soluções para a AID.

o) Estações elevatórias, diques e comportas.

Estação Elevatória de Água é caracterizada com um conjunto de motobombas, válvulas e acessórios interligados com um poço de sucção ou um reservatório que garanta um volume contínuo da sucção das bombas, podendo ser enterrado ou apoiado.

Existem diversos tipos de Estação Elevatória de Água, que podem ser projetadas com diferentes tipos de bombas, podendo ser também de água bruta ou água tratada.

Dentre os tipos de Estações Elevatórias, podemos citar algumas:

- Recalque de água da captação até os reservatórios
- Recalque de água dos reservatórios de água bruta até a ETA
- Recalque da ETA para reservatórios
- Transporte de água entre reservatórios
- Recalque de água da célula inferior para a superior de um reservatório

De forma a viabilizar a operação das duas bacias de amortecimento propostas para a AID, utilizou-se da alternativa de implantação de estações elevatórias visando o retardo de escoamento no sistema de drenagem compensatória proposta para a região de estudo.

p) Ampliação, reabilitação e/ou reconstrução de unidades de drenagem subdimensionadas

Para o presente estudo, previu-se para a AID as alternativas de limpeza e desobstrução de dispositivos de drenagem com capacidade hidráulica suficiente, visando a unificação do sistema proposto com o existente; gerando portanto, a reabilitação destes. Entretanto, para os dispositivos com capacidade hidráulica insuficientes, previu-se a demolição destes e substituição em cada caso, conforme a análise de disposição de elementos do novo sistema de drenagem proposto.

q) Obras de microdrenagem complementares

Como alternativas de obras de microdrenagem complementares, o manual adotado prevê as seguintes modalidades:

- canaletas gramadas ou ajardinadas;
- valas, trincheiras e poços de infiltração;
- dispositivos para captação de águas pluviais (bocas-de-lobo);
- poços de visita ou inspeção; e
- galerias de águas pluviais.

Para a AID, todas as alternativas acima elencadas serão utilizadas na composição do novo sistema de drenagem.

r) Serviços Preliminares

O manual adotado no presente estudo propõe a adoção de serviços preliminares a fase de implementação de atividades inerentes à drenagem propriamente dita, tais como:

- placa da obra;
- tapumes, limpeza da área e cercamento da área; e
- instalação de canteiros.

Entretanto, tendo em vista o foco do presente estudo, descartaram-se estas atividades. Ressalta-se que estas deverão ser previstas em fase posterior de estudos / projetos de forma a anteceder a fase de implementação do sistema proposto.

s) Outras obras complementares (pavimentação / sistema de monitoramento/ urbanização / etc).

Em relação à pavimentação, previu-se a demolição de pavimentos existentes visando a implantação de pavimentos permeáveis e liberação de áreas para implementação de dispositivos de drenagem integrantes ao sistema proposto (Apêndices 25, 26, 27).

A respeito do sistema de monitoramento, destaca-se que a CPRM desenvolveu o Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE), programa computacional capaz de coletar, armazenar, analisar e divulgar os dados das estações automáticas coletados por diversos equipamentos hidrometeorológicos. No Brasil, até o ano de 2014, são 7 bacias monitoradas por esse sistema, conforme a Tabela 44.

Tabela 44 - Bacias Monitoradas pelo SACE.

ITEM	BACIA	EM OPERAÇÃO DESDE
1	Rio Amazonas	1989
2	Rio Paraguai (Pantanal)	1994
3	Rio Doce	1996
4	Rio Caí	2010
5	Rio Muriaé	2014
6	Rio Acre	2014
7	Rio Madeira	2014

Fonte: CPRM, 2014.

Ademais, destaca-se atividades propostas para urbanização de caráter complementar – implantação de áreas verdes na forma de gramados, canteiros verdes e implantação de jardins irrigados. Entretanto este detalhamento deve ser previsto em fase subsequente ao presente estudo e em caso de implementação deste.

t) ações para a viabilização das obras

Nesta seção, o Manual 10ASG do MDR (2020) prevê a aquisição ou desapropriação de terreno para execução das obras, quando necessária; o reassentamento de famílias, inclusive desapropriação ou aquisição de terreno para a relocação de população, quando esta for a alternativa técnica e econômica mais vantajosa. Relativo à estas intervenções complementares, destacam-se que essas atividades deverão ser previstas em fases subsequentes ao presente estudo.

u) Resumo de Alternativas Propostas

Elencaram-se na Tabela 45, de forma resumida, as alternativas analisadas para a implementação de Intervenções para ampliação/melhoria dos sistemas de drenagem urbana (conforme a Ação 10SG):

Tabela 45 - Resumo das alternativas de drenagem urbana propostas para a AID.

	ALTERNATIVA	APLICAÇÃO	JUSTIFICATIVA
a)	Reservatório de amortecimento de cheias	Sim	Foram propostos 2 reservatórios
b)	Parque linear ribeirinho	Não	Nenhum corpo hídrico atravessa a área em estudo
c)	Parque isolado associado a reservatório de amortecimento de cheias ou área para infiltração de águas pluviais	Não	Nenhum corpo hídrico atravessa a área em estudo
d)	Recuperação de áreas úmidas (várzeas)	Não	A várzea do rio Negro, nos limites da área de estudo, está ocupada pela feira Manaus Moderna e Porto de Manaus, as quais contam com obras de contenção
e)	Banhados construídos (wetlands)	Sim	Foram indicadas áreas de utilização nas praças e vias exclusivas para pedestres
f)	Restauração de margens	Não	Nenhum corpo hídrico atravessa a área em estudo
g)	Recomposição de vegetação ciliar	Não	Nenhum corpo hídrico atravessa a área em estudo e a margem do rio Negro encontra-se antropizada
h)	Renaturalização de rios ou córregos	Não	Nenhum corpo hídrico atravessa a área em estudo e a margem do rio Negro encontra-se antropizada

	ALTERNATIVA	APLICAÇÃO	JUSTIFICATIVA
i)	Bacias de contenção de sedimentos	Não	Nenhum corpo hídrico atravessa a área em estudo
j)	Dissipadores de energia	Sim	Previstos nos dispositivos de interligação das vias com declividades acentuadas
k)	Adequação de canais para retardamento do escoamento incluindo	Não	Nenhum corpo hídrico atravessa a área em estudo
l)	Desassoreamento de rios e canais	Não	Nenhum corpo hídrico atravessa a área em estudo
m)	Canalização de córregos quando associada a obras e ações não estruturais que priorizem a retenção, o retardamento e a infiltração das águas pluviais	Não	Nenhum corpo hídrico atravessa a área em estudo
n)	Sistemas para aproveitamento das águas pluviais	Não	Não encontrada relação custo/benefício favorável para um aspecto macro, contudo, cada edificação poderá adotar seus sistemas de reuso para lavagens e descargas das bacias sanitárias
o)	Controle de enchentes e erosões provocadas pelos efeitos da dinâmica fluvial incluindo a construção de espigões, muro de proteção, diques de contenção e outros tipos de obras proposto nesse contexto	Não	A orla da cidade, nos limites da área de estudo, dispõe de obras de contenção
p)	Estações elevatórias, diques e comportas quando fizerem parte do sistema macrodrenagem	Sim	Para viabilizar a operação das duas bacias de amortecimento propostas
q)	Ampliação, reabilitação e/ou reconstrução de unidades de drenagem subdimensionadas	Sim	Recuperação dos dispositivos deteriorados
r)	Obras de microdrenagem complementares	Sim	Execução de novos trechos complementares à rede existente
s)	Serviços Preliminares	Sim	A ser previsto em fase subsequente.
t)	Outras obras complementares (pavimentação / sistema de monitoramento/ urbanização / etc).	Sim	A ser previsto em fase subsequente.
u)	Ações para viabilização das obras (desapropriações/ reassentamentos).	Sim	A ser previsto em fase subsequente.

Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Com base na Tabela 45, as alternativas consideradas no presente estudo são:

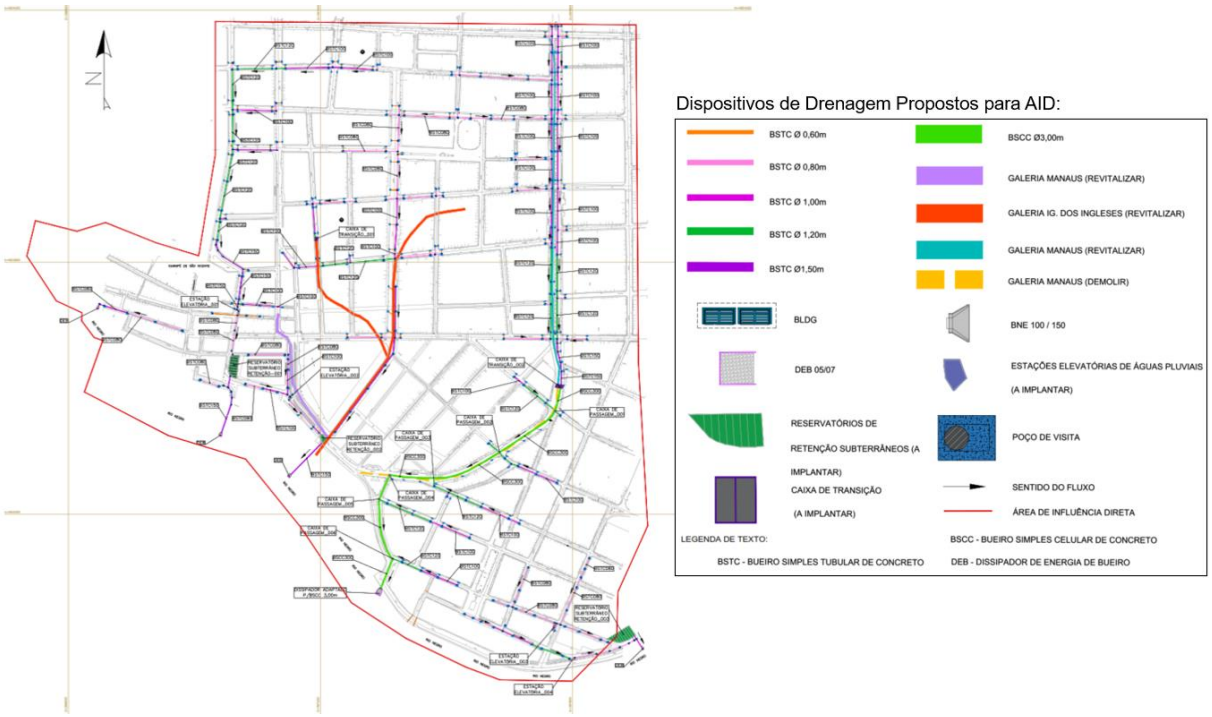
- Reservatório de amortecimento de cheias,
- Banhados construídos,
- Dissipadores de energia,
- Intervenções de microdrenagem (compatibilizando e restaurando dispositivos existentes),
- Interferências com outras infraestruturas,
- Estação de bombeamento
- Separação da rede de esgoto sanitário.

Com base na inspeção visual realizada e nos relatos dos usuários diários das vias em estudo, verificou-se que o sistema de drenagem existente é passivo de melhorias (Apêndice 29). Portanto, a rede

de drenagem existente na região em estudo deverá receber atividade de limpeza e desobstrução em toda sua extensão.

Em relação a galeria Manaus localizada na Avenida Floriano Peixoto, esta deverá ser demolida e reconstruída uma vez que não possui capacidade hidráulica receptora suficiente para condução do volume de efluentes previstos na vazão pico do tempo de retorno do presente estudo. Tais medidas podem ser observadas na peça gráfica do Apêndice 30 (Figura 60).

Figura 60 - Dispositivos das alternativas de drenagem urbana propostas para a AID – Apêndice 30.



Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Previu-se ainda a construção três reservatórios de retenção subterrâneos (Figuras 61, 62 e 63), abastecidos através de elevatórias distribuídas na região de estudo. Para todos os cenários haverá uma expansão do sistema atual em atendimento a necessidade de reservas localizadas e deságue retardado em relação ao corpo hídrico adjacente (rio Negro).

Figura 61 - Reservatório Subterrâneo de Retenção 001.



Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Figura 62 - Reservatório Subterrâneo de Retenção 002.



Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Figura 63 - Reservatório Subterrâneo de Retenção 003.



Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Essas alternativas foram combinadas nos chamados “MIX DE ALTERNATIVAS”, descriminados a seguir.

Após levantamento de campo e estudos realizados com base nas informações coletadas e calculadas, foram elaborados três Mix de Alternativas para o novo sistema de drenagem superficial e profunda a implantar (contemplando macro e microdrenagem).

6.5.1. Alternativas Propostas para o sistema de drenagem na AID

a) Mix de Alternativas 01

Este Mix consiste na implantação caixas de retenção/retardo caixas coletoras, bueiros simples tubulares de concreto, poços de visita e deságue através de dissipador de energia no Rio Negro (corpo hídrico adjacente à região de estudo).

De forma mais detalhadas, nesta alternativa, foram projetadas/previstas:

- Limpeza e desobstrução dos dispositivos de drenagem existentes;
- Implantação de bocas de lobo duplas em concreto (executadas sobre áreas de passeio / calçadas);
- Implantação de poços de visita PVI 08 ao PVI 12 – dispositivo padrão DNIT.

- Bueiros simples tubulares de concreto do tipo PA2 para condução de águas captadas a partir de bocas de lobo.
- Demolição dos pavimentos existentes em vias de uso exclusivo de pedestres e implantação de pavimentos permeáveis com blocos de concreto intertravados.
- Demolição e reconstrução de meio-fio e sarjetas nas vias de implantação de pavimento permeável.
- Implantação de quatro estações elevatórias para fins de abastecimento dos reservatórios de retenção.
- Demolição de parte da Galeria Manaus (a partir do cruzamento da Av. Getúlio Vargas com a Av. 07 de Setembro).
- Implantação de três reservatórios de retenção localizados a montante do deságue no corpo hídrico adjacente para fins de retardo de vazão no escoamento e minimização de riscos de erosão no tocante ao corpo receptor.

b) Mix de Alternativas 02

O sistema de drenagem proposto neste Mix contará com a construção de bocas de lobo duplas com grelha de ferro (minimizando os níveis de interferências em relação ao pavimento e infraestruturas existentes). Além destas, projetou-se a implantação de "*Wetlands*" (Apêndice 28), sendo a rede de alimentação e drenagem instaladas nas entradas e saídas, com o nível d'água regulado por uma válvula na saída. Após a montagem, os leitos são plantados diretamente no meio suporte com vários tipos de vegetais ou apenas um tipo, dependendo do objetivo do projeto em fase posterior. Ao percolar pelo meio filtrante o efluente é submetido a vários processos de tratamento como filtração, sedimentação e atividade microbiana. Estes sistemas são ideais para a remoção de sólidos suspensos, patógenos, DBO e nitrato. Vale ressaltar que o efluente gerado nesse sistema atinge elevados padrões de tratamento e a água possui potencial para reuso. De modo análogo ao Mix 01, neste o efluente é levado aos reservatórios de retenção através de estações elevatórias com deságue final no Rio Negro, localizado nas adjacências da região de estudo.

De forma pontuada, foram projetadas, nesta alternativa:

- Limpeza e desobstrução dos dispositivos de drenagem existentes;
- Bocas de lobo duplas com grelhas de ferro (executadas nas laterais das calçadas / passeios - nos limites de sarjetas existentes - sem a necessidade de demolição das calçadas existentes);
- Implantação de poços de visita PVI 08 ao PVI 12 – dispositivo padrão DNIT.
- Bueiros simples tubulares de concreto do tipo PA3 para condução de águas captadas a partir de bocas de lobo a implantar.
- Demolição dos pavimentos existentes em vias de uso exclusivo de pedestres e implantação de pavimentos permeáveis com blocos de concreto intertravados.

- Demolição e reconstrução de meio-fio e sarjetas nas vias de implantação de pavimento permeável.
- Implantação de “Wetlands” em vias de uso exclusivo para pedestres.
- Implantação de quatro estações elevatórias para fins de abastecimento dos reservatórios de retenção.
- Demolição de parte da Galeria Manaus (a partir do cruzamento da Av. Getúlio Vargas com a Av. 07 de Setembro).
- Três reservatórios de retenção localizados a montante do deságue no corpo hídrico adjacente para fins de retardo de vazão no escoamento e minimização de riscos de erosão no tocante ao corpo receptor.

c) Mix de Alternativas 03

O Mix de alternativas 03 contempla a implantação de bueiros do tipo RIB-LOC, tubulações resultantes de um processo simples de fabricação, bobinados por empresas capacitadas tecnicamente e treinadas pelo fabricante, resultando em um produto de grande qualidade e baixo custo final, o que os tornam extremamente competitivo no mercado. Neste Mix foram mantidas as bocas de lobo duplas com grelha de ferro (minimizando os níveis de interferências em relação ao pavimento e infraestruturas existentes) e a implantação de “*Wetlands*”. Desta forma, foram projetas, as seguintes estruturas:

- Bueiros do tipo Rib-Loc para condução de águas captadas a partir de bocas de lobo.
- Limpeza e desobstrução dos dispositivos de drenagem existentes;
- Bocas de lobo duplas com grelhas de ferro (executadas nas laterais das calçadas / passeios - nos limites de sarjetas existentes - sem a necessidade de demolição das calçadas existentes);
- Implantação de poços de visita PVI 08 ao PVI 12 – dispositivo padrão DNIT.
- Demolição dos pavimentos existentes em vias de uso exclusivo de pedestres e implantação de pavimentos permeáveis com blocos de concreto intertravados.
- Demolição e reconstrução de meio-fio e sarjetas nas vias de implantação de pavimento permeável.
- Implantação de “*Wetlands*” em vias de uso exclusivo para pedestres.
- Implantação de quatro estações elevatórias para fins de abastecimento dos reservatórios de retenção.
- Demolição de parte da Galeria Manaus (a partir do cruzamento da Av. Getúlio Vargas com a Av. 07 de Setembro).
- Três reservatórios de retenção localizados a montante do deságue no corpo hídrico adjacente para fins de retardo de vazão no escoamento e minimização de riscos de erosão no tocante ao corpo receptor.

d) Matriz de Decisão

A matriz de decisão é uma ferramenta de apoio no processo de decisão. Tal instrumento possibilita que seja feita uma análise rápida por meio de critérios que favoreçam uma visão ampla e coerente de várias alternativas.

De acordo com (CHIAVENATO, 1997) decisão é o processo de análise e escolha entre várias alternativas disponíveis do curso de ação que a pessoa deverá seguir; e decidir a de recomendar entre vários caminhos alternativos que levam a determinado resultado (OLIVEIRA, 2004). Uma matriz de decisão é uma maneira de se tomar uma decisão ao se considerar todos os critérios de importância (PUGH, 1991).

Uma tomada de decisão deve ser embasada preferencialmente em variáveis com pesos a partir do grau de importância, com valores quantitativos e qualitativos, que possibilitem aferir o resultado de modo lógico, evitando emitir juízo de valor sobre os requisitos definidos.

Para classificar qual o melhor Mix de Alternativas proposta para a AID, elaborou-se uma matriz de decisão composta por diferentes critérios na qual correspondem a importância associada a cada um dos critérios apresentados (Tabela 46).

Tabela 46 - Critérios da Matriz de Decisão.

CRITÉRIO	DESCRIÇÃO
Planejamento	Considerado em função da necessidade de tomadas de decisão e organização de etapas envolvidas para o processo de implantação de cada Mix de alternativas.
Celeridade	Determinado pela velocidade e prazo de execução das intervenções do Mix, bem como agilidade na contratação dos serviços.
Interdependência	Avaliação do número de entes envolvidos para consecução dos serviços e conclusão das atividades em cada Mix.
Operacional	Considera o nível do impacto na continuidade das operações cotidianas na região de estudo para a execução das intervenções em cada Mix. Exemplos: tráfego, comércio local, etc.
Impacto Ambiental/Social	Avaliação dos custos e dificuldade relativa para obtenção de licenças ambientais, desapropriações, impactos na legislação de uso do solo local (Lei de Uso e Ocupação do Solo – LUOS).
Investimentos	Comparação de custos financeiros, em termos relativos, considerando a implantação de cada Mix avaliado.

Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

A tabela 47 apresenta os parâmetros para avaliação das alternativas, considerando a seguinte legenda:

Tabela 47 - Matriz de Decisão.

Cor	Avaliação	Nota
	Bom	3
	Aceitável	2
	Ruim	1

Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

As estimativas orçamentárias (Tabela 48) foram realizadas com base nas tabelas de preço oficiais SICRO (Data base: Jul/2022) e SINAPI (Data base: Jul/2022). Os serviços não constantes nestas, foram alvo de cotações para coleta de preços do mercado atual. Apresenta-se, portanto, uma estimativa orçamentária para todos os cenários através dos Apêndices 32, 33 e 34.

Tabela 48 - Estimativas orçamentárias para os mix de alternativas propostas.

Mix de Alternativas	Estimativa Orçamentária (R$)
01	48.391.955,56
02	56.427.510,71
03	48.413.206,44

Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Analisando-se as principais condições de drenagem para definição de projeto e as soluções propostas para cada uma dessas condições, as Tabelas 49 e 50 e apresentam os resultados da matriz de decisão da solução mais vantajosa para a rede de drenagem a implantar:

Tabela 49 - Matriz de Decisão.

	ALTERNATIVAS		
CRITÉRIOS	**Mix 01**	**Mix 02**	**Mix 03**
Planejamento	2	2	3
Celeridade	1	1	3
Interdependência	1	2	1
Operacional	2	2	1
Impacto Ambiental/Social	1	3	2
Investimentos	3	1	2
∑ Nota	**10**	**11**	**12**

Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Tabela 50 - Matriz de Decisão.

CRITÉRIO	**MIX 01**	**MIX 02**	**MIX 03**
Planejamento			
Celeridade			
Interdependência			
Operacional			
Ambiental			
Investimentos			

Fonte: Cunha, J. A. C. (2023).

Nota-se a pontuação do Mix 02 mostrando ser, nesse caso, a melhor opção a ser adotada.

Vale ressaltar que as comparações acima são feitas de acordo com certos comportamentos e experiência observada na aplicação dessas alternativas. Vários fatores colaboram para a escolha mais acertada do tipo a ser aplicado assim sendo:

- **Custo de manutenção:** impacta na solução técnica ao gerar periodicamente necessidade de procedimentos e verificações, além da própria hora técnica alocada aos mesmos, que afeta a operacionalidade da região de estudo.
- **Durabilidade:** relevante na decisão da melhor solução, pois representa a vida útil do sistema ao longo do período em que é solicitado pelo cálculo dimensionado.
- **Resistência:** relevante na decisão da melhor solução, pois representa capacidade do sistema funcionar de acordo com a capacidade crítica projetada ao longo do período em que é solicitado pelo cálculo dimensionado.

- **Logística:** relevante na decisão da melhor solução, pois o transporte de material até Manaus implica diretamente do tempo de execução da obra. Vale ressaltar que a escolhas dos materiais afeta o planejamento e consequentemente a logística na mobilização até a implantação na região de estudo.
- **Tempo de Execução:** relevante na decisão da melhor solução, pois representa o tempo necessário para a execução do projeto, influenciando assim no cronograma da obra.

São descritos abaixo os principais apontamentos considerados na Matriz de Decisão do sistema de Drenagem proposto para a região de estudo no Centro de Manaus:

- **Considerações acerca do Mix de Alternativas 01:**

O Mix de Alternativas 01 propôs a implantação de bocas de lobo duplas em concreto com implantação em áreas de calçadas (tornando-a inviável uma vez que majora as interferências em relação ao pavimento e redes de infraestruturas existentes). Apesar da previsão de implantação de elevatórias e grandes reservatórios subterrâneos, este Mix não apresenta melhorias ambientais para a região em estudo.

- **Considerações acerca do Mix de Alternativas 02:**

O Mix de Alternativas 02, propôs como diferencial a implantação do sistema *Wetland*, realizando o tratamento das águas pluviais (que atualmente possuem contato direto com despejos da rede de esgoto sanitário local), além destas, manteve-se a implantação de elevatórias e grandes reservatórios de retardo localizados nas regiões subterrâneas, fornecendo maior volume de reserva, reduzindo a vazão a jusante da rede e minimizando os riscos de sobrecarga no deságue junto ao corpo hídrico receptor (Rio Negro).

- **Considerações acerca do Mix de Alternativas 03:**

Como elemento diferencial deste Mix, destaca-se a proposta de tubulações do tipo RIB-LOC, esta apresentou baixo custo de aplicação por possuir um peso menor em relação às alternativas convencionais de tubulação, o tipo RIB-LOC tem seu transporte, estocagem e manuseio mais fáceis. Eliminando também a necessidade de equipamentos especiais para a sua movimentação. Por outro lado, por ausência de fornecedoras locais, este tipo de material torna-se inviável para a região. E, apesar das vantagens este tipo de material não apresenta resistência a temperaturas superiores a 40ºC, o que o tornou inviável para esta aplicação.

e) Alternativa proposta

Desta maneira, apresenta-se como solução técnica mais vantajosa, visando à economia e a eficácia contra problemas futuros o Mix de Alternativas 02, que consiste em executar uma nova rede de drenagem (paralela à rede existente e com o aproveitamento máximo desta última), conforme apresentam-se nos Apêndices 30 e 31.

7. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho tratou da análise das cheias do rio Negro ocorridas nos últimos vinte anos e a interferência destas na área de risco de inundação recorrente, localizada no centro da cidade de Manaus, denominada Área de Influência Direta (AID); fornecendo soluções alternativas para o aprimoramento do sistema de drenagem local existente, como forma de subvencionar agilidade e precisão nas ações do poder público local, embasando-se no Manual para Apresentação de Propostas para Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável e de Manejo de Águas Pluviais, do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) – Sistemática PPA 2020-2023 – Programa de Riscos e Desastres do Governo Federal. Foram propostos como objetivos específicos, na área de estudo, a análise de dados pluviométricos e linimétricos do rio Negro, a realização do levantamento cadastral de dispositivos e da rede de drenagem existente, a elaboração de mapas de manchas de inundações previstas para os tempos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos e por fim e a proposição de soluções alternativas para o sistema de drenagem, conforme premissas do Manual do Ministério do Desenvolvimento Regional, anteriormente citado.

Em relação à análise pluviométrica e linimétrica de dados, optaram-se por estações hidrométricas, da plataforma *hidroweb* da Agência Nacional de Águas (ANA), localizadas próximas a AID e que apresentassem suficiência e consistência de dados para realização da análise, no período delimitado de vinte anos (2001 a 2021), incluindo-se os dados do ano hidrológico de ocorrência maior e última cheia histórica ocorrida na região (2021). As precipitações totais (anuais) na região, apresentaram uma média de 2.318,14mm. Concernente a análise de intensidade-duração-frequência, observou-se que uma precipitação de um dia de duração e tempo de retorno de cinco anos, ocorre a menor intensidade calculada em 6,59 mm/h e o outro extremo ocorre para o tempo de retorno de cem anos e menor duração de precipitação (cinco minutos), onde calculou-se a intensidade pluviométrica de 313,98 mm/h para a região de estudo. As alturas de precipitação foram analisadas em função da duração e do tempo de recorrência analisados, onde verificou-se que a maior altura de precipitação (217,20mm) ocorre para um dia de duração e período de retorno de cem anos enquanto a menor altura de precipitação (16,70mm) ocorre para a duração de cinco minutos de precipitação e menor tempo de retorno (cinco anos). Além destas, realizou-se a análise comparativa entre as cotas linimétricas do rio Negro e as precipitações na região, onde observou-se que a precipitação mensal média máxima ocorre no mês de março (334,75mm) e a mínima no mês de agosto (52,41mm), entretanto, a cota mensal máxima do rio Negro, na região de estudo ocorre no mês

de junho (28,61) e a mínima no mês de novembro (18,10m). Portanto há uma defasagem de aproximadamente 03 meses na resposta hidrológica em relação a precipitação, dessa forma confirma-se que o período de cheia do rio Negro não coincide com o período de chuvas da AID.

No que tange o diagnóstico da rede de drenagem existente na AID, verificou-se que os dispositivos de drenagem encontrados na área se encontram em grande parte deteriorados ou em péssimo estado de conservação, seja em função do tempo de uso, seja pela depredação dos usuários, seja pela incompatibilidade entre o sistema de drenagem e o sistema viário ou ainda pela sobrecarga hidráulica. Destaca-se nesse contexto, que as condições insatisfatórias dos dispositivos, originam-se da ausência de manutenções preventivas e da incidência de resíduos sólidos que geram a obstrução e incapacidade da rede de drenagem existente. Por outro lado, a rede de drenagem profunda de captação (galeria dos ingleses) apresentou capacidade hidráulica insuficiente.

Ademais, realizou-se o levantamento do modelo digital de terreno da AID a partir da aerofotogrametria, com o uso de drone modelo DJI MAVIC 2 PRO, com câmera da HasselBlad 20 MP e os voos foram planejados no software Drone Deploy, contabilizados em 7 a 120 metros de altura cada e com 75% de sobreposição lateral e longitudinal, obtendo aproximadamente um GSD (GROUND SAMPLE DISTANCE) de 3.00 cm/pix no Datum WGS84, EPSG 31980, Sistema de Projeção Cartográfica SIRGAS 2000/ UTM ZONA 20 S. A partir do MDT obtido, modelou-se a superfície da área de estudo com o auxílio do software Civil 3D-v.2021 e com os dados obtidos na análise de níveis máximos do rio Negro corrigidos, realizaram-se as manchas de inundação previstas na área para os tempos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos. A partir das manchas elencadas, verificou-se a vulnerabilidade de áreas na AID localizadas abaixo das cotas de inundações previstas, interferindo de forma assertiva na área adjacente ao curso hídrico do rio Negro. Dessa forma, observou-se que toda a parte baixa do centro histórico apresenta riscos de inundações, não apenas pela intervenção das chuvas, mas principalmente, pela dificuldade de declividade suficiente para fins de escoamento contínuo da rede de drenagem existente.

Verificou-se ainda, que a área em estudo é uma zona urbana consolidada, antropizada e predominantemente pavimentada. Nela não existem lagos, lagoas ou reservatórios artificiais que sirvam como complementos da rede de drenagem. Outrossim, todas as áreas identificadas como permeáveis (que viabilizassem a implantação de sistema complementar à drenagem local) foram tombadas pelo IPHAE/SEDAC por se tratar de uma área de sítio arqueológico. Portanto, observou-se uma limitação de áreas disponíveis para implantação de dispositivos de grande

porte e soluções superficiais de drenagem. Neste enfoque, a proposição de alternativas para o sistema de drenagem existente baseou-se no Manual de apresentação de propostas para sistemas de drenagem urbana sustentável e de manejo de águas pluviais do Ministério do Desenvolvimento Regional (Secretaria Nacional de Saneamento) inserido na sistemática PPA 2020-2023 (Programa 2218) da Gestão de Riscos e Desastres do Governo Federal, uma vez que a região de estudo é elegível à Ação Orçamentária 10SG por estar inserida em um município (Manaus) que apresenta processo hidrológico crítico como dominante e possui mapeamento de setorização de risco reconhecido pela CPRM. Foram analisadas as tipologias de soluções elencadas pelo Manual do MDR e a viabilidade de aplicação de cada uma destas na AID, obtendo-se assim as seguintes alternativas de soluções para a rede de drenagem:

- Reservatório de amortecimento de cheias,
- Banhados construídos,
- Dissipadores de energia,
- Intervenções de microdrenagem (compatibilizando e restaurando dispositivos existentes),
- Interferências com outras infraestruturas,
- Estação de bombeamento
- Separação da rede de esgoto sanitário.

Com base na inspeção visual e cadastros dos dispositivos de drenagem, verificou-se que o sistema de drenagem existente é passivo de melhorias, entretanto, esta deverá receber atividade de limpeza e desobstrução em toda sua extensão aproveitada. Em relação a galeria Manaus localizada na Avenida Floriano Peixoto, esta deverá ser demolida e reconstruída uma vez que não possui capacidade hidráulica receptora suficiente para condução do volume de efluentes previstos na vazão pico do tempo de retorno do presente estudo. Previu-se ainda a construção três reservatórios de retenção subterrâneos abastecidos através de elevatórias distribuídas na região de estudo. Para todos os cenários propôs-se uma expansão do sistema atual em atendimento a necessidade de reservas localizadas e deságue retardado em relação ao corpo hídrico adjacente (rio Negro). As soluções propostas foram combinadas e elaborados três Mix de Alternativas para o novo sistema de drenagem superficial e profunda a implantar (contemplando macro e microdrenagem). Após a delimitação das três soluções propostas, utilizou-se de uma matriz de decisão para a classificação destas com base em critérios de planejamento, celeridade, interdependência, operacionalidade, impactos ambientais/sociais e investimento requerido; tais parâmetros foram ponderados em pesos: 1 (ruim), 2 (aceitável) e 3

(Bom). Após a montagem da matriz de decisão, o Mix de Alternativas 02 apresentou-se como a melhor solução proposta para a AID uma vez que propôs a execução de uma rede de drenagem relativamente paralela à existente e com o aproveitamento máximo de dispositivos existentes (após desobstruções e limpezas requeridas), além do diferencial da implantação do sistema *Wetland*, realizando o tratamento das águas pluviais (que atualmente possuem contato direto com despejos da rede de esgoto sanitário local), além destas, nesta solução, optou-se pela a implantação de elevatórias e grandes reservatórios de retardo localizados nas regiões subterrâneas, fornecendo maior volume de reserva, reduzindo a vazão a jusante da rede e minimizando os riscos de sobrecarga no deságue junto ao corpo hídrico receptor (Rio Negro).

Portanto, infere-se que o presente trabalho alcançou os objetivos esperados e espera-se que os produtos gerados sirvam de ferramenta técnica para que, de forma preventiva às próximas cheias, o poder público possa utilizar os mapas de inundações para os períodos de retornos advindos e dispor de alternativas propostas para a rede de drenagem existente na área de estudo, visando a implementação de obras de infraestruturas corretamente propostas, auxiliando dessa forma, na gestão pública dos recursos hídricos, da cidade de Manaus.

Na sequência do presente trabalho, surgiram aspectos que se revelaram interessantes para uma abordagem mais detalhada. Foram elencados, sumariamente, aqueles que poderão vir a ser objeto de futura investigação:

- Criação de modelo de simulação hidrodinâmica do Rio Negro, às margens da AID, com o auxílio do software HEC-RAS visando a verificação do regime de escoamento do curso hídrico, análise da qualidade da água e movimento de sedimentos.
- Análise hidrológica da viabilidade de implantação de sistema de comportas para retardo do avanço do nível do rio Negro em períodos de cheia na região, de forma sistemática e paralela à captação de águas pluviais proveniente da área de contribuição local.
- Ampliação da área de estudo para as margens da cidade urbanizada de Manaus, banhadas pelo rio Negro, propondo a análise de manchas de inundação em limite perimetral da cidade de forma a expandir a análise de áreas suscetíveis à inundações em zonas baixas da cidade.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACT IPPLAN CEMADEN (2016). Acordo de Cooperação Técnica entre Instituto de Pesquisa, Planejamento e Administração (IPPLAN) e Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden). Publicado no Diário Oficial da União em 11 de maio de 2016.

AMARAL, R. & RIBEIRO, R.R. Enchentes e Inundações. In: TOMINAGA, L.K; SANTORO, J; AMARAL, R. (Orgs.), Desastres Naturais, conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, p. 40-53, 2009.

ANA. Agência Nacional de Águas. Boletim de Monitoramento Hidrometeorológico da Amazônia ocidental. Número 49, de 9 de dez de 2022 Disponível em:< https://www.cprm.gov.br/sace/> Acesso em: 5 de dez de 2012.

BARBIERI, J. C. Desenvolvimento e meio ambiente: as estratégias de mudanças da Agenda 21. Petrópolis: Vozes, 2012.

BATISTA, M. L. Precipitação máxima diária anual na região Sudeste do Brasil: distribuição de probabilidade e análise espacial. 2013. 69 f. Dissertação (PósGraduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2013.

BRASIL. Lei no 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. Diário Oficial da União 2007; 08 jan. Acesso em: 21 de out. 2022.

_____. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L14026.htm. Acesso em: 21 de out. 2022.

_____. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF 09/01/1997, P. 470. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm Acesso em: 10/09/2022.

BRASIL. Ministério das Cidades. Proposta de Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB. 2019. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br . Acesso em: Set. 2022.

_____. Ministério do Desenvolvimento Regional. 4o diagnóstico de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Brasília: SNS; MDR, 2020c.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES / INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios / Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura, organizadores – Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007.

BERNARDES, J. A., FERREIRA, F. P. M. SOCIEDADE E NATUREZA. In: CUNHA, S. B., GUERRA, A. J. T. (Org.). A Questão Ambiental Diferentes Abordagens. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

CARRERA-FERNANDEZ, J.; GARRIDO, R. J. S. Impactos da nova política nacional de águas sobre os setores usuários de recursos hídricos. Bahia Análise & Dados, Salvador, v. 13, n. Especial, p. 467-480, 2003.

CARVALHO, C.S., MACEDO, E.S., OGURA, A.T. (Organizadores). Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007.

CANÇADO, V.; NASCIMENTO, N.; CABRAL, J. Cobrança pela drenagem urbana de águas pluviais: bases conceituais e princípios microeconômicos. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 11, n. 2, p. 15-25, 2006.

CASTRO, A. L. P. de; SILVA, C. N. P.; SILVEIRA, A. Curvas Intensidade-Duração-Frequência das precipitações extremas para o município de Cuiabá (MT). Ambiência Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, v.7, n.2, p.305-315, 2011.

CHRISTOFIDIS D.; ASSUMPÇÃO, R. F. S. V.; KLIGERMAN, D. C. A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. Saúde em Debate, Rio de Janeiro, v. 43, n. 3, p. 94-108, 2019.

CHRISTOFIDIS D.; ASSUMPÇÃO, R. F. S. V.; KLIGERMAN, D. C. A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. Saúde em Debate, Rio de Janeiro, v. 43, n. 3, p. 94-108, 2019.

DINIZ, C. C. Economia Regional e Urbana. Contribuições teóricas recentes. CEDEPLAR. Ed. UFMG. Belo Horizonte, 2006.

ESTRATÉGIA INTERNACIONAL DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A REDUÇÃO DE DESASTRES (UNISDR). Como Construir Cidades mais Resilientes, 2010 – 2015. Escritório das Nações Unidas para Redução de Riscos e Desastres. Genebra: UNSDR, 2012.

FEO, G. de et al. The historical development of sewers worldwide. Sustainability, v. 6, n. 6, p. 3936-3974, 2014.

FIRJAN – FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Índice Firjan de desenvolvimento municipal. Rio de Janeiro: Publicações Firjan Pesquisas e Estudos Socioeconômicos, 2018.

FILIZOLA, Roberto; KOZEL, Salete. Teoria e Prática do Ensino de Geografia: Memórias da Terra. São Paulo: FTD, 2009. 79 p.

GROBE, Cristiana Maria Petersen. A Cidade dos Desejos e os Desejos da Cidade. Manaus: Fronteira do Tempo: Revista de Estudos Amazônicos. p.215 - 218, 2012.

GROBE, Cristiana Maria Petersen Manaus e seus Igarapés: A construção da cidade e suas representações (1880-1915) / Cristiana Maria Petersen Grobe. 2014

JACOBI, P. Políticas sociais e ampliação da cidadania. São Paulo: FGV, 2000.

KUWAJIMA, J. I. et al. Saneamento no Brasil: proposta de priorização do investimento público. Brasília: Ipea, 2020. (Texto para Discussão, n. 2614).

MARTINEZ, F. J., MAGNI, N. L. G. EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Edição Revisada. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.

MINISTÉRIO DAS CIDADES (Brasil); IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 2007 – Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios. Organizadores: Carvalho, C.S., Macedo, E. S., Ogura, A.T.; Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnólicas – IPT.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO (SNS). Diagnóstico de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas. Brasília: SNS, 2019.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO (SNS). Construindo Cidades Resilientes 2030. Brasília: SNS, 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Áreas Prioritárias para Conservação, Atualização -Portaria MMA n°9, de 23 de janeiro de 2007.Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Brasília: MMA, 2007.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Programas Integrantes do PPA 2020-2023. Agropecuária e Meio Ambiente. Brasília: MAPA, 2020.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

MENEZES, C. L. Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. São Paulo, 1996.

MOURA, P. M. Contribuição para a avaliação global de sistemas de drenagem urbana. 2004. 146 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

OSTROWSKY, M. S. B.; Urbanização e controle de enchentes: o caso de São Paulo, seus conflitos e interrelações. Tese de Mestrado (Mestrado em Engenharia), 1989. Versão Abreviada disponível no Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de engenharia da construção Civil, 1991.

OLIVEIRA, J. M. G. C. Expansão urbana e periferização de Santarém-PA, Brasil: questões para o planejamento urbano. Diezaños de câmbios enel Mundo, em La Geografía y em lãs Ciencias Sociales,1999-2008. Actasdel X Coloquio Internacional de Geocrítica, Universidad de Barcelona,26-30, 2008.

PARFITT, C.M. Áreas de preservação do ambiente natural urbano, segregação e impacto nas paisagens e na biodiversidade: estudo de caso de Pelotas R.S. Revista, Raega- o espaço geográfico em análise v.37,2016. DOI:http://dx.doi.org/10.5380/raega.v37i0.39203

PINHEIRO, C. B.; SANTOS, R. E. Trajetória da drenagem urbana no Brasil: uma perspectiva a partir da análise de políticas públicas recentes de Belo Horizonte. In: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL, 18., 2019, Natal. Anais... [s.l.]: Enanpur, 2019.

PRINCE GEORGE'S COUNTRY (1999). *Low-Impact Development Design Strategies: An Integrated Design Approach*. Maryland: Department of Environmental Resources, Programs and Planning Division. 150 p.

PRUSKI, Fernando Falco, BRANDÃO, Viviane dos Santos e SILVA, Demetrius David da. Escoamento superficial. 2 ed. Editora UFV: Viçosa. 2004.

RIGHETTO, A. M. (Coord.). Manejo de águas pluviais urbanas. Rio de Janeiro: Abes, 2009. 396 p.

SANTOS, Francisco Jorge (org.). Catálogo do Rio Negro: Documentos Manuscritos Avulsos existentes no Arquivo Histórico Ultramarino (1723-1825). Manaus: EDUA, 2000.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE), Manaus, apresentação. Disponível em: <https://www.cprm.gov.br/sace/manaus_apresentacao.php>. Acesso em 08 de dez. de 2022.

SILVEIRA, A.L.L. Drenagem Urbana: aspecto de gestão. Rio Grande do Sul: Ed. da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

SILVEIRA, A. L.L.; CRUZ, M.S.; TUCCI, C.E.M, 1998, Controle do Escoamento com detenção em lotes urbanos, Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 3, N.4, out/dez, pp 19-31.

SILVEIRA, A. L. L. Hidrologia urbana no Brasil. In: BRAGA, B.; TUCCI, C. E. M.; TOZZI, M. (Ed.). Drenagem urbana: gerenciamento, simulação, controle. Porto Alegre: UFRGS, 1998. p. 22.

SANDRONI, P. Novíssimo dicionário de economia. São Paulo: Best Seller, 1999.

SANTOS, R. F. (ORG.). Vulnerabilidade Ambiental - Desastres Naturais ou Fenômenos Induzidos. Brasília: MMA, 2007. 192p.

SOUZA, M. J. L. Mudar a cidade: uma introdução crítica ao planejamento e à gestão urbanos. Rio de janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

TUCCI, C.E.M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. RBRH V5 nº1 p. 61-68. 2000

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da drenagem urbana. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 7, n. 1, p. 5-27, 2002.

TUCCI, C. E. Urbanização e Recursos Hídricos. Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Águas do Brasil. Análise estratégica. São Paulo, 2007.

TUCCI, C. E. Desenvolvimento Urbano. Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Águas do Brasil. Análise estratégica. São Paulo, 2008.

TUCCI, C.E.M. Enchentes urbanas in: Drenagem Urbana, cap. 1 Editora da Universidade, ABRH. 1995

TUCCI, C. E. M.; SOUZA, C. F.; CRUZ, M. A. S.; Desenvolvimento urbano de baixo impacto: planejamento e tecnologias verdes para a sustentabilidade das águas urbanas. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 17, n. 2, p. 9-18, 2012.

TUCCI, Carlos E. M. Inundações urbanas. In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.L; BARROS, M.T. Drenagem Urbana. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS. p.15-36.1995.

TUCCI, C.E.M., PORTO, R.L.L., BARROS, M.T. (organizadores). 1995. Drenagem urbana. Porto Alegre: ABRH, Editora da Universidade, UFRGS. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v.25

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. 2000. *Storm hydrology and urban drainage*. In: Tucci, C. Humid Tropics Urban Drainage, capítulo 4. UNESCO.

_____. Gestão de águas pluviais urbanas. Brasília: SNS; MDR, 2005.

_____. Urbanização e Recursos Hídricos. Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Águas do Brasil. Análise estratégica. São Paulo, 2007.

_____. Águas Urbanas. Estudos Avançados, v. 22 n. 63, p. 97-112, 2008.

_____.Gestão da drenagem urbana. Brasília: Cepal; Ipea, 2012. (Texto para Discussão, n. 48).