



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ  
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO  
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**KHALLYL DO ROSARIO RAMOS**

**A INFRAESTRUTURA VERDE E O PROCESSO DE RESILIÊNCIA NA  
INFRAESTRUTURA URBANA DE MACAPÁ, AMAPÁ, BRASIL**

MACAPÁ  
2025

KHALYL DO ROSÁRIO RAMOS

**A INFRAESTRUTURA VERDE E O PROCESSO DE RESILIÊNCIA NA  
INFRAESTRUTURA URBANA DE MACAPÁ, AMAPÁ, BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Colegiado do Curso de  
Bacharelado em Ciências da Ambientais  
da Universidade Federal do Amapá, como  
requisito necessário para a obtenção do  
título de Bacharel em Ciências  
Ambientais

Área de concentração: Ciências Humanas  
e Meio Ambiente

Orientadora: Helenilza Ferreira  
Albuquerque Cunha

MACAPÁ

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Biblioteca Central/UNIFAP-Macapá-AP  
Elaborado por Cristina Fernandes – CRB-2 / 1569

---

R175i Ramos, Khallyl do Rosário.

A infraestrutura verde e o processo de resiliência na infraestrutura urbana de Macapá, Amapá, Brasil / Khallyl do Rosário Ramos. - Macapá, 2025.

1 recurso eletrônico.

47 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Amapá, Coordenação do Curso de Ciências Ambientais, Macapá, 2025.

Orientadora: Helenilza Ferreira Albuquerque Cunha.

Coorientador: .

Modo de acesso: World Wide Web.

Formato de arquivo: Portable Document Format (PDF).

1. Infraestrutura resiliente. 2. Infraestrutura verde. 3. Desenvolvimento sustentável. I. Cunha, Helenilza Ferreira Albuquerque, orientadora. II. Universidade Federal do Amapá . III. Título.

CDD 23. ed. – 711.40981

---

## **A INFRAESTRUTURA VERDE E O PROCESSO DE RESILIÊNCIA NA INFRAESTRUTURA URBANA DE MACAPÁ, AMAPÁ, BRASIL**

Autor: Khallyl do Rosario Ramos

Orientadora: Helenilza Ferreira Albuquerque Cunha

Curso de Bacharelado em Ciências Ambientais

Macapá, 8 de Abril de 2025

### **RESUMO**

Este trabalho analisou a implementação de modelos de infraestruturas verdes como uma estratégia para aumentar a resiliência da infraestrutura urbana em Macapá, especialmente em face dos desafios impostos pelas mudanças climáticas. A pesquisa foi desenvolvida em três etapas: a) revisão da literatura com buscas em bases como o Google Acadêmico e com o uso de palavras-chave como infraestrutura urbana, infraestrutura verde e infraestrutura resiliente. Essa etapa embasou o trabalho em teorias sólidas para entender as melhores práticas e diretrizes para a implementação de soluções sustentáveis; b) foi feito o mapeamento dos bairros mais vulneráveis às mudanças climáticas mediante dados do site da Defesa Civil de Macapá foi identificado as áreas de alto risco suscetíveis a alagamentos, que possam ser beneficiadas pela implementação de infraestruturas verdes; c) com base nas informações coletadas, foram elaborados mapas que destacam locais prioritários para a implementação de infraestruturas verdes. Este mapa pode servir como ferramenta estratégica para orientar decisões políticas e ações de planejamento urbano, buscando mitigar os impactos das mudanças climáticas e promover a sustentabilidade na cidade. Os Resultados mostraram que existem cerca de 12 modelos de infraestruturas verdes no mundo que foram subdivididos em 3 categorias, os dados da Defesa Civil mostram que Macapá apresenta 33 áreas de risco em 2023 com 11 bairros no radar de monitoramento. Com isso, os modelos de infraestruturas verdes para a cidade foram divididos em micro-abrangência (prédios e ruas) e macro-abrangência (Zona ou Bairros). Foi concluído que Macapá apresenta um grande potencial para o desenvolvimento de uma infraestrutura resiliente através das infraestruturas verdes. O trabalho forneceu subsídios para a elaboração de políticas públicas que integrem infraestruturas verdes ao planejamento urbano. Dessa forma busca-se contribuir para que o município de Macapá seja mais resiliente e adaptado às mudanças climáticas, promovendo maior qualidade de vida para seus habitantes.

**Palavras-chave:** Infraestrutura resiliente, infraestrutura verde, desenvolvimento sustentável, bem-estar urbano, planejamento urbano.

**KHALLYL DO ROSÁRIO RAMOS**

**A INFRAESTRUTURA VERDE E O PROCESSO DE RESILIÊNCIA NA  
INFRAESTRUTURA URBANA DE MACAPÁ, AMAPÁ, BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Amapá, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Ciências Ambientais.

Data de Aprovação: 20/04/2025

---

Profª. Dra. Helenilza Ferreira Albuquerque Cunha

**Orientadora**

---

Profª. Dra. Alzira Marques de Oliveira

**Avaliador 1**

---

Prof. Dr. Marco Antônio Augusto Chagas

**Avaliador 2**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me conceder força, sabedoria e serenidade em todos os momentos da minha caminhada acadêmica.

À minha orientadora, Dra. Helenilza Ferreira Albuquerque Cunha, deixo minha profunda gratidão. Obrigado por acreditar no meu potencial desde o início e por estar sempre presente, com paciência, dedicação e apoio ao longo de toda a minha trajetória acadêmica. Sua orientação foi fundamental para que este trabalho se tornasse realidade.

À minha mãe, Rosana do Rosário Ramos, meu eterno amor e reconhecimento. Você foi a melhor rede de apoio que eu poderia ter. Esteve ao meu lado em todos os momentos, me motivou a seguir em frente e nunca deixou que me faltasse nada, seu carinho, cuidado e sacrifícios foram a base de tudo o que conquistei até aqui.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para que esta etapa fosse concluída com êxito, meus sinceros agradecimentos.

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Mapa da Zona Urbana de Macapá.....	22
Figura 2. Modelo de Telhado verde.....	34
Figura 3. Modelo Parede verde.....	35
Figura 4. Modelo Jardim de chuva.....	36
Figura 5. Mapa locais para implementação de Infraestruturas Verdes.....	37
Figura 6. Áreas Arborizadas da Zona Norte.....	38
Figura 7. Áreas Arborizadas da Zona Sul.....	38

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Infraestruturas Verdes Urbanas.....	25
Quadro 2. Infraestruturas Verdes para Gestão da Água da Chuva.....	27
Quadro 3. Infraestruturas Verdes para Ecossistemas.....	29

## PREFÁCIO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso é fruto de inquietações que surgiram ao longo da minha trajetória acadêmica, especialmente diante dos desafios ambientais enfrentados pelas cidades amazônicas. A convivência com os impactos das mudanças climáticas em Macapá, como os recorrentes alagamentos e a vulnerabilidade de certas áreas urbanas, despertou em mim o desejo de contribuir com soluções que fossem não apenas eficazes, mas também sustentáveis e integradas à realidade local. A escolha pelo tema das **infraestruturas verdes** veio como resposta a esse contexto. Mais do que uma tendência global, essas soluções representam uma oportunidade concreta de transformação urbana, que alia tecnologia, natureza e bem-estar social. Este trabalho, portanto, buscou reunir teoria e prática para propor caminhos possíveis e adaptáveis ao cenário urbano de Macapá.

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
<b>2 JUSTIFICATIVA</b>	<b>12</b>
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>13</b>
3.1 Mudanças climáticas	13
3.2 Mudanças climáticas no Brasil e na Amazônia	15
3.3 Mudanças climáticas no Amapá	16
3.4 Cidades Sustentáveis - Objetivo do Desenvolvimento Sustentável (ODS) 11	17
3.5 Meio Ambiente artificial	18
3.6 Infraestrutura verde	19
3.7 Infraestrutura resiliente	22
<b>4 METODOLOGIA</b>	<b>23</b>
4.1 Área de Estudo	23
4.2 Método de coleta de Dados	23
4.3 Método de Análise de Dados	24
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>25</b>
5.1 Infraestrutura Verdes Urbana	25
5.2 Infraestrutura Verde-Azul para Gestão da Água	26
5.3 Infraestrutura verde para Ecossistemas	29
5.4 Bairros Vulneráveis em Macapá	32
5.5 Infraestrutura verde para Macapá	34
<b>6 CONCLUSÃO</b>	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>41</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A globalização mudou o cenário mundial e as cidades são o foco da economia e inovação. em contrapartida, a rápida urbanização não acompanhou o processo de adaptação das redes que sustentam a infraestrutura urbana. Aliada às mudanças climáticas, que a cada ano se tornam mais severas, tornando as infraestruturas globais inseguras, as ondas de calor, as inundações e tempestades intensas causam diversos impactos negativos à economia global (Salimi, Al-Ghamdi, 2020). Desse modo, o sexto relatório anual do IPCC em 2022 mostrou que os impactos causados por catástrofes ambientais custaram cerca de US\$ 3,64 trilhões à economia mundial.

Esses impactos negativos podem ser vistos em diversas cidades do mundo, sendo as ondas de calor extremo uma das características ambientais mais notáveis. Este fenômeno climático chamado ilha de calor urbana, se manifesta por temperaturas mais elevadas nas cidades em comparação ao campo. A diferença de temperatura entre áreas urbanas e rurais é afetada não apenas pelo número de habitantes da cidade, mas por suas características físicas, como a densidade da construção, os materiais dos edifícios e superfícies, além do padrão de distribuição das atividades humanas (Saaroni, 2018).

Os acordos internacionais, quando firmados e apoiados pelos países, frequentemente não alcançam nem mesmo o mínimo necessário para evitar uma catástrofe iminente. Além disso, embora seja uma crise de grande magnitude, a mudança climática não afeta todos de maneira uniforme (Borras Jr, 2021). Os impactos têm diferentes perigos para a ecologia e para as pessoas quando aumentam a vulnerabilidade das áreas urbanas. O entendimento comum das mudanças climáticas está ligado principalmente às variações que afetam diretamente o cotidiano das pessoas e incluem: chuvas fortes, radiação solar, temperatura e velocidade do vento (Mohammed, 2022).

O controle do calor extremo na área urbana não significa sustentabilidade, porém tem potencial para diminuição de riscos de morbidade e mortalidade que são causadas pelo forte calor (Eleftheria Alexandri, 2008).

Usado pela primeira vez na mecânica, o conceito de resiliência refere-se à capacidade de um objeto voltar ao seu estado original quando acontece uma ação extrema que força uma mudança na sua forma sem quebrar (Holling, 1996). Após isso, foi bastante adotado em vários campos, como biologia, psicologia, sociologia e gestão pública. A resiliência da infraestrutura em comparação com outros sistemas, é mais interdependente e pode criar resistência a

interrupções rotineiras e eventos de calamidade (Engler, 2018). Caso o sistema de uma infraestrutura urbana não tenha resiliência, toda cidade está vulnerável a mudanças bruscas. Sendo assim, melhorar a resiliência urbana das cidades é fundamental, especialmente em locais com muitas ocorrências de desastres (Liu, 2022).

As infraestruturas verdes vêm sendo um dos métodos mais difundidos globalmente e que ajudam na resiliência da infraestrutura e é muito utilizado no campo do paisagismo, arquitetura e urbanismo. Para Fletcher *et al.* (2015), a infraestrutura verde teve sua primeira aparição na década de 1990 nos Estados Unidos. É importante ressaltar que a infraestrutura verde não se direciona apenas para manejo de águas pluviais como utilizado inicialmente (Cormier; Pellegrino 2008). A primeira definição do termo apareceu em um estudo de Benedict; McMahon (2006):

Essa rede de espaços interconectados, na escala do planejamento urbano e regional, pode ser vista como uma “infraestrutura verde”, composta de áreas naturais e outros tipos de espaços abertos que conservam os valores dos ecossistemas naturais e suas funções como mananciais, controle ambiental, regulação climática, recreação e lazer, provendo uma ampla gama de benefícios para a sociedade.

A Revolução Industrial foi a principal causadora das preocupações com a natureza, por questões de falta de higiene observada nos espaços públicos verdes, como o descarte de resíduos. No final dos anos 1850, se difundiram dois espaços públicos verdes em cidades europeias: 1 feito pelo urbanista Joseph Paxton, o modelo inglês do parque público Birkenhead Park, na cidade de Birkenhead, o 2 modelo francês que ficou conhecido como “natureza urbanizada” e o “espaços verdejantes” em Paris, por Haussmann (Vasconcelos, 2023).

Em momentos de desastre, uma infraestrutura resiliente consegue manter as pessoas seguras ao mesmo tempo que possibilita o desenvolvimento econômico e bem-estar social a longo prazo (Borges, 2022). Porém, não existem modelos o suficiente para guiar uma cidade para a resiliência total, os existentes nem sempre englobam cidades que se desenvolvem rápido demais. Este estudo busca propor modelos baseados na infraestrutura verde que melhorem a resiliência da infraestrutura urbana de Macapá.

A pergunta norteadora da pesquisa foi: Quais técnicas, baseadas na natureza, podem ser implementadas para aumentar a capacidade adaptativa da infraestrutura e dos serviços frente aos riscos climáticos na cidade de Macapá? O objetivo geral foi analisar técnicas de infraestrutura urbana baseada na natureza aplicáveis à cidade de Macapá-Amapá frente às mudanças climáticas. E os objetivos específicos foram: identificar quais áreas da cidade estão expostas a riscos climáticos; avaliar locais para implementação de sistemas de infraestruturas verdes e avaliar o impacto da infraestrutura verde no bem-estar humano.

## 2 JUSTIFICATIVA

A escolha do tema se justifica por sua relevância e atualidade no cenário global. Desastres ambientais frequentemente expõem problemas estruturais decorrentes da falta de planejamento urbano, afetando também as cidades de pequeno porte. Embora essas cidades sejam complementares à rede urbana, elas dependem significativamente de serviços especializados, muitas vezes necessitando direcionar seu fluxo para cidades maiores. Este projeto visa identificar maneiras para aumentar a capacidade adaptativa da cidade, tornando-a mais resiliente frente às mudanças climáticas. Uma infraestrutura resiliente é essencial para garantir a segurança, saúde e bem-estar dos cidadãos. Este estudo pretende contribuir para o desenvolvimento sustentável da cidade, alinhando-se às diretrizes do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU.

A relevância do presente estudo fundamenta-se nos desafios que as mudanças climáticas impõem ao planeta, especialmente no que diz respeito à vulnerabilidade de áreas urbanas, incluindo cidades de pequeno porte. Os desastres ambientais revelam fragilidade nas estruturas urbanas, resultado de um planejamento urbano inadequado e expõe lacunas na capacidade de respostas das comunidades.

Neste contexto, o projeto visa identificar estratégias que aumentem a capacidade adaptativa dessas cidades, promovendo sua resiliência frente aos desafios climáticos. A construção de uma infraestrutura resiliente é essencial para assegurar a segurança, a saúde e o bem-estar das populações locais. Uma infraestrutura resiliente é aquela que tolera mudanças e se reestrutura integradamente em torno de novos processos. É a capacidade de uma cidade em absorver impactos, gerir esses impactos e promover aprendizagem e adaptação. De maneira geral, uma infraestrutura resiliente é capaz de proteger seus cidadãos das consequências de alterações climáticas ou humanas, suportando mudanças bruscas de mercado para que não afetem a distribuição de serviços coletivos. Essas mudanças podem ser causadas por fortes chuvas, ventos, deslizamentos de terra, enchentes de rios e abalos sísmicos (IPCC, 2022).

Outra contribuição do projeto está no âmbito do desenvolvimento sustentável das comunidades, visto que se alinha às diretrizes do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima e aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da ONU (ODS).

## 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 3.1 Mudanças climáticas

Impactos como inundações, secas e ondas de calor extremo ocorrem devido a um fenômeno cada vez mais presente nas discussões governamentais e na mídia. Essas alterações climáticas são, em grande parte, resultantes da emissão de gases de efeito estufa (GEEs), que estão em alta concentração nos combustíveis fósseis. As consequências dessas mudanças têm gerado diversas iniciativas voltadas à mitigação de seus efeitos e ao controle do aquecimento global, visando estabelecer condições mais seguras para a humanidade e os ecossistemas. Embora seja um desafio de escala global, suas repercussões tendem a ser mais severas nas áreas urbanas, onde vive a maior parte da população mundial, que enfrenta uma série de vulnerabilidades que aumentam os riscos climáticos (De Casimiro, 2022).

Nesse contexto, o Painel Intergovernamental sobre as Mudanças Climáticas (IPCC) caracteriza a mudança climática como "uma alteração estatisticamente significativa no estado médio do clima ou em sua variabilidade, que persiste por um período prolongado". Essa mudança pode ser provocada tanto por fenômenos naturais quanto por ações humanas, sendo estas últimas as mais alarmantes devido à sua rápida e intensa contribuição para o aumento das temperaturas globais, resultando em eventos extremos prejudiciais, um fato atualmente considerado indiscutível. De acordo com o IPCC, entre 2030 e 2052, a temperatura média da Terra deve aumentar em 1,5°C em comparação com os níveis anteriores à industrialização, e esse aumento é impulsionado pela atividade humana, especialmente pela liberação de gases de efeito estufa (GEEs), aerossóis e seus precursores, além de outras ações, como a mudança no uso do solo, uma prática intimamente relacionada aos processos de urbanização (IPCC, 2023).

Entre os potenciais impactos negativos e seus respectivos riscos, o IPCC ressalta o aumento da frequência de chuvas intensas e secas, a elevação das temperaturas médias na maioria das áreas terrestres e oceânicas, bem como o agravamento de ondas de calor em regiões habitadas; o aumento do nível do mar; a perda e extinção de várias espécies de fauna e flora; o aquecimento e a acidificação dos oceanos; o derretimento das geleiras; e a intensificação de fenômenos extremos, como furacões e ciclones. Esses eventos podem acarretar riscos à saúde,

à segurança alimentar, à segurança humana e aos meios de subsistência, além de causar estresse hídrico e crises econômicas, entre outras ameaças mais tangíveis (IPCC, 2023).

O aumento da temperatura e a frequência em que as mudanças climáticas acontecem são alertas, pois afetam vários aspectos da ecologia. Essas mudanças impactam diretamente e indiretamente, deixando os sistemas urbanos, a infraestrutura urbana e espaços verdes vulneráveis (Mohammed, 2022).

Por exemplo, as drásticas mudanças afetam diversos setores no Golfo Pérsico em diferentes graus. O clima mudou de maneira repentina nos Estados, à medida que as temperaturas cresceram de 1960 a 2010, a sensação térmica em noites e dias era considerada fria e durante esse período o setor experimentou uma elevação na temperatura tendo noites mais quentes do que o habitual. Em toda região, o aumento da temperatura se deu pelos impactos da atividade humana no clima. O impacto aparente das mudanças climáticas foi evidenciado no aumento da temperatura em cerca de 4°C mais do que as médias de 1960, agravado por uma severa diminuição na precipitação (Hassan, 2012).

Pesquisas multimodelos indicam que as chuvas estão aumentando em grande parte na Ásia e, em períodos de seca, chegam em intervalos espaçados de baixa intensidade. Entretanto, na Península Arábica, um estudo mostrou que a diminuição das chuvas coincidiu com aumento dos períodos de seca. Além disso, a gravidade da seca crescerá, especificamente nos meses de verão (Arnell, 2004).

A poeira tem implicações dos efeitos das mudanças climáticas, sendo uma das variáveis importantes nos modelos climáticos. Os desertos asiáticos e africanos, cinturões de poeiras assim chamados, são a principal fonte de poeira mundial (Leandro, 2001). Esses cinturões de poeira incluem o Saara, as regiões secas, semiáridas e áridas da Arábia e da Ásia, o Turcomenistão e o deserto de Gobi no leste asiático. Em tempestades de poeira fortes, a poeira da região leste asiática vai muito além do Pacífico transitório e atinge as costas do ocidente Norte Americano. Da mesma maneira, a poeira do Saara corta o oceano Atlântico e chega nas Américas (Hilal, 2017).

As cidades desempenham um papel crucial na mitigação das mudanças climáticas, uma vez que as autoridades locais possuem responsabilidades jurisdicionais sobre elementos fundamentais da emissão de gases de efeito estufa (GEEs), como o planejamento do uso do solo urbano, o transporte público e a gestão de resíduos sólidos, entre outros. Além disso, essas áreas urbanas têm o potencial de atuar como laboratórios para testar soluções para a crise climática. Os governos municipais também têm a capacidade de funcionar como uma importante interface de engajamento entre diferentes grupos de interesse, incluindo atores não governamentais, que

são essenciais para o sucesso das iniciativas de combate às mudanças climáticas em nível local (HU-habitat, 2016).

### 3.2 Mudanças climáticas no Brasil e na Amazônia

O Brasil, que é o sétimo maior emissor de gases de efeito estufa no mundo, em 2018 69% de suas emissões foram resultantes de mudanças no uso da terra, especialmente ligadas à agricultura e ao desmatamento (SEEG, 2020). Em 2020, apesar da redução global de 6% nas emissões devido à paralisação causada pela pandemia de Covid-19, o Brasil continuou a apresentar um cenário preocupante, com um aumento na taxa de desmatamento nos biomas da Amazônia e do Cerrado, além da devastação de 25% do Pantanal em decorrência de incêndios florestais (INPE, 2020). O ano também foi marcado por temperaturas extremas em várias áreas, com alertas de risco de morte por hipertermia em grande parte do Centro-Oeste e do Norte do país (Da Silva Santos; Oliveira; Ignotti, 2021).

Houve um crescimento das mudanças climáticas em nível global, resultado da ação humana e como consequência, as diversas regiões do Brasil já estão lidando com as modificações em seus climas. O Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) indica que essas transformações afetaram de maneira desigual os sistemas naturais, humanos, de infraestrutura e produtivos do país. Um aumento na temperatura poderá resultar em uma maior frequência de eventos extremos em várias partes do Brasil, além de alterações nos padrões de precipitação, com uma incidência maior de secas, inundações, alagamentos, deslizamentos de terra e, conseqüentemente, deslocamentos populacionais nas áreas afetadas. Essas mudanças terão repercussões significativas na sociedade, nos ecossistemas e em diversos setores da economia (Melo Junior, 2017).

É possível entender que o aumento das mudanças no sistema climático global tem provocado impactos significativos nos sistemas naturais e humanos no Brasil. Esses efeitos se manifestam de forma ampla, afetando desde a biodiversidade singular dos ecossistemas amazônicos até as dinâmicas das comunidades que dependem diretamente dos recursos naturais para sua sobrevivência (Melo Junior, 2017).

De acordo com Santos *et al.* (2017), por exemplo, a vegetação da Amazônia maranhense está exposta a alterações no regime de precipitação, além de significativos aumentos de temperatura, que têm gerado sérios danos às espécies locais. Essas espécies não estão adaptadas

às novas condições climáticas em desenvolvimento. Além disso, essas mudanças podem alterar a composição da flora maranhense, pois a localização geográfica da região a torna mais suscetível às transformações climáticas.

### 3.3 Mudanças climáticas no Amapá

Desde que as preocupações climáticas surgiram, algumas medições feitas ao longo dos anos detectaram que as temperaturas máximas anuais variaram, com a menor temperatura mensal máxima recente registrada em Macapá, que foi de 30,2°C no mês de fevereiro. A diferença nas temperaturas máximas em Macapá entre os períodos de 1961-1990 e 1991-2020 atingiu uma média de 1,1°C. Esse aumento é significativo e reflete uma tendência de aquecimento (INMET, 1992; INMET, 2012; INMET, 2022).

No ranking das capitais amazônicas que mais aqueceram, Macapá ocupa a segunda posição, com um aumento de 1,2°C. A cobertura vegetal influencia diretamente o conforto térmico urbano, e a porcentagem de domicílios com arborização ao redor em Macapá é de 65,13%. Esse valor é próximo da média brasileira de 67,43%, enquanto a média dos dados dos estados da Região Amazônica foi de 43,19%, muito inferior à média da Região Sudeste, que apresenta o melhor índice, com 72,81% (IBGE, 2012).

Um fator crucial na caracterização do conforto térmico urbano é o grau de urbanização das cidades. Em 2010, a urbanização das vias em Macapá era de apenas 19,7%, a menor entre as capitais amazônicas. A média nacional de cobertura de pavimentação na área urbana é de 74,8%, enquanto a média das capitais da Região Amazônica é de 59,6% (IBGE, 2012).

Os planos diretores são importantes no processo de resiliência urbana. Na pesquisa de Silva e Almeida (2024) sobre os Planos Diretores das capitais amazônicas, Macapá é a cidade com maior defasagem, com seu plano datado de 2004 (21 anos). Diferentemente de outras capitais, que iniciaram seus processos de revisão, Macapá ainda não está em processo de atualização de seu Plano Diretor.

Em todo o estado, Macapá é a cidade que mais enfrentou transformações devido à expansão urbana resultante do aumento populacional. A vegetação da cidade tem sido significativamente afetada, levando à redução e à degradação da qualidade ambiental,

especialmente em relação aos fatores microclimáticos influenciados pela vegetação urbana, como temperatura e precipitação (Costa; Maneschy; Camilo, 2022).

No que diz respeito à distribuição espacial dos índices de temperatura na área urbana de Macapá, os bairros que registraram as médias mais elevadas de temperatura de superfície no ano de 2014 foram Bella Ville, Infraero II e Jardim das Acácias, com valores de 48,56°C, 47,24°C e 46,85°C, respectivamente. Os bairros Infraero II e Jardim das Acácias estão situados na zona norte, enquanto Bella Ville se encontra na zona oeste da cidade. Melo Júnior *et al.* (2017) analisaram a "Mancha Urbana" e observaram sua evolução ao longo das rodovias, destacando uma tendência de expansão dos focos de calor em direção ao norte e ao oeste da região.

Os dados de 2023 indicam que o Centro e os bairros adjacentes em Macapá registraram uma média de Temperatura de Superfície Terrestre (TST) acima de 44 °C, uma das médias mais elevadas. Os bairros com as temperaturas mais altas em 2023 foram Jardim Felicidade II (46,39 °C) e Buritizal (46,27 °C), localizados respectivamente, nas zonas norte e sul. Além disso, bairros mais distantes também apresentaram índices elevados de TST, predominantemente na zona norte, com temperaturas médias superiores a 45 °C (Vilhena, 2024).

### 3.4 Cidades Sustentáveis - Objetivo do Desenvolvimento Sustentável (ODS) 11

O ODS 11 estabelece que, até 2030, os países devem assegurar que todos tenham acesso a moradia segura e acessível, com uma atenção especial às áreas que carecem de infraestrutura básica. Além disso, a meta inclui garantir a oferta de serviços essenciais, a melhoria do transporte público e o desenvolvimento de uma urbanização mais eficiente, sustentável e inclusiva. Deve assegurar a proteção das populações vulneráveis, especialmente durante desastres naturais, com a meta de minimizar as perdas econômicas e reduzir o número de vítimas. A partir de 2020, a Campanha Construindo Cidades Resilientes (MCR 2030) passou a ser responsável por acompanhar a implantação das estratégias voltadas para a construção de cidades mais resilientes e sustentáveis, oferecendo ferramentas de monitoramento e avaliação dessas iniciativas. Hoje, mais de 4.360 cidades no mundo participam, com 290 cidades brasileiras já inscritas (Ecycle, 2023).

A construção de cidades resilientes é um pilar fundamental para o fortalecimento da resiliência climática e o desenvolvimento sustentável das sociedades. Além de melhorar as

infraestruturas urbanas, é crucial uma gestão eficiente do uso do solo, o manejo sustentável dos ecossistemas e a promoção de práticas responsáveis nos setores industrial e energético. Essas ações ajudam a mitigar os impactos das mudanças climáticas e garantem que as cidades estejam preparadas para enfrentar futuros desafios ambientais e sociais (Ecycle, 2023).

O Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA), criado em 10 de maio de 2016 pela Portaria nº 150, é uma iniciativa do governo federal desenvolvida em parceria com diversos setores, incluindo a sociedade civil, o setor privado e as administrações estaduais. O principal objetivo desse plano é reduzir a vulnerabilidade do Brasil às mudanças climáticas e implementar ações que melhorem a gestão dos riscos associados a esses impactos ambientais, visando fortalecer a resiliência do país diante dos desafios climáticos (Brasil, 2021).

O Programa Cidades Verdes Resilientes visa melhorar a qualidade ambiental e a resiliência climática das cidades brasileiras, enfrentando os impactos das mudanças climáticas. Isso será feito por meio da integração de políticas urbanas, ambientais e climáticas, incentivando práticas sustentáveis e promovendo a valorização dos serviços ecossistêmicos proporcionados pela vegetação urbana. Diante dos desafios ambientais globais e das responsabilidades cada vez maiores, os Ministérios do Meio Ambiente e Mudança do Clima, das Cidades, e da Ciência, Tecnologia e Inovação estão unindo esforços para criar uma estratégia nacional. O objetivo é potencializar o trabalho conjunto desses órgãos e mobilizar as governanças locais em relação aos compromissos climáticos e ao desenvolvimento urbano sustentável (Brasil, 2024).

### 3.5 Meio Ambiente artificial

A infraestrutura cinza, também chamada de Meio Ambiente Artificial, compreende os componentes construídos pelo ser humano, como edifícios, vias, calçadas e sistemas tradicionais de drenagem. Diferentemente da infraestrutura verde, que integra elementos naturais como plantas e árvores, a infraestrutura cinza é formada predominantemente por materiais como concreto, asfalto e aço. Apesar de sua importância para a finalidade das áreas urbanas, os impactos negativos associados ao aumento dessa infraestrutura, especialmente no que diz respeito às temperaturas nas cidades, têm se tornado cada vez mais evidentes (Synergia, 2022).

O progresso do conhecimento e da tecnologia possibilitou o desenvolvimento de infraestruturas e sistemas complexos, essenciais para viabilizar as atividades humanas

contemporâneas. Isso permitiu a construção de estruturas imponentes, como edifícios, estradas, represas e adutoras, além de máquinas sofisticadas, filtros, geradores de energia e sistemas interligados que captam, tratam e distribuem água, ou ainda geram e distribuem energia elétrica. Graças a essas inovações, a humanidade foi capaz de ampliar suas capacidades, facilitando o crescimento de grandes centros urbanos e criando padrões de consumo que frequentemente são insustentáveis. Essas tecnologias possibilitam maior concentração populacional e um modo de vida baseado em alto consumo de recursos naturais, o que pode ser difícil de manter a longo prazo, considerando os impactos ambientais envolvidos (Synergia, 2022).

Há uma crença predominante de que essas grandes infraestruturas tradicionais são suficientes para garantir o fornecimento contínuo de grandes volumes de água e energia. Existe uma expectativa de que essas tecnologias proporcionem resultados rápidos e eficazes, mas essa perspectiva pode ser ingênua, pois desconsidera os limites desses sistemas e as consequências do uso excessivo dos recursos naturais (Synergia, 2022).

### 3.6 Infraestrutura verde

A sustentabilidade, amplamente mencionada em discussões contemporâneas, refere-se ao princípio de buscar o equilíbrio entre a disponibilidade dos recursos naturais e a exploração desses recursos pela sociedade. Este conceito propõe a conciliação entre a preservação do meio ambiente e a qualidade de vida da população, destacando a necessidade entre desenvolvimento e conservação ambiental, no entanto, sua implementação efetiva depende de infraestruturas urbanas resilientes que possam apoiar práticas sustentáveis (Silva *et al.*, 2024).

Nesse contexto, a infraestrutura verde surge como uma abordagem essencial, utilizando estratégias naturais para aumentar a resiliência das áreas urbanas. Um exemplo fundamental dessa infraestrutura são as áreas arborizadas das cidades. As árvores têm a capacidade de absorver grandes volumes de água durante períodos de chuvas intensas, graças às suas copas e sistemas de raízes profundos, contribuindo para a mitigação de enchentes e a melhoria da gestão hídrica (Bonatto, 2019).

Pesquisas indicam que a técnica de **plantação estratégica de árvores** nas cidades pode diminuir o consumo de energia para aquecimento e resfriamento em até 50%. Além de capturarem partículas do ar e absorverem poluentes como ozônio, dióxido de nitrogênio e dióxido de enxofre, as árvores nas áreas verdes urbanas têm um impacto econômico significativo. Por exemplo, estima-se que a floresta urbana de Nova Iorque contribua com uma

limpeza do ar avaliada em US\$ 213 milhões anualmente. Além de promover a retenção de águas pluviais e economizar energia, os bosques urbanos também beneficiam a saúde e o bem-estar das pessoas, ajudando a reduzir o estresse, melhorar a saúde mental e encorajar atividades físicas como caminhadas (Sansavini, 2017).

Este sistema de interceptação diminui o volume de escoamento superficial e a probabilidade de transbordamentos de esgoto misturados. Antes que as águas pluviais alcancem os corpos d'água, o solo e a vegetação nas áreas verdes urbanas filtram e degradam naturalmente os poluentes presentes. Para cada incremento de 1% na cobertura da copa das árvores, estima-se que as árvores possam reduzir o escoamento de águas pluviais em cerca de 7.000 galões anuais por quarteirão em uma área urbana típica (Lochhead, 2017).

Os **telhados verdes** são técnicas baseadas nas infraestruturas verdes que oferecem mais benefícios do que simplesmente reter as águas pluviais. Eles também desempenham um papel importante na redução do calor nas áreas urbanas. Estudos demonstraram que telhados verdes extensivos podem manter a superfície do telhado entre 10 e 15°C mais fria em comparação com telhados convencionais. Em dias ensolarados, telhados verdes intensivos têm o potencial de resfriar a superfície em até 50°C. Esse resfriamento se propaga para o ar ao redor, por meio de convecção, resultando em uma diminuição da demanda de energia para resfriar os edifícios durante o verão, quando o consumo de eletricidade é mais alto. Pesquisas indicam que as tecnologias dos telhados verdes podem reduzir a necessidade de energia para resfriamento em 15 a 30% (Lochhead, 2017).

No bairro de Rieselfeld na Alemanha foi implantado um cinturão verde em uma área que recebeu os resíduos de esgoto da cidade, por muitos anos. O cinturão verde projetado foi composto por áreas de preservação e zonas rurais, para favorecer a qualidade de vida e servir de habitat para a fauna local. O sistema de drenagem é inteiramente natural, com uma sequência de jardins, biovaletas, e lagoas de retenção e detenção, conduzindo a água das edificações até uma lagoa na reserva ecológica. Uma pista para ciclistas e pedestres contorna o bairro, facilitando o acesso ao centro urbano e ao cinturão verde, onde também se encontra um zoológico (Herzog; Rosa, 2010)

No bairro de Freiburg, um desenvolvimento urbano recente foi projetado com infraestrutura de baixo impacto ambiental e alto desempenho. O bairro adota uma ocupação compacta, com áreas de lazer e recreação integradas entre os edifícios. A infraestrutura possui **superfícies permeáveis** e um sistema de drenagem que reproduz os processos naturais, promovendo a absorção da água no solo. As vias foram desenhadas prioritariamente para ciclistas e pedestres, enquanto os veículos são direcionados para estacionamentos em edifícios-

garagem situados na periferia do bairro, refletindo a baixa dependência de automóveis entre os moradores (Herzog; Rosa, 2010).

Na área a oeste da estação de trens de Wiehre, foi implantada uma infraestrutura verde multifuncional de ponta, com um **sistema de drenagem urbana naturalizado**. Esse loteamento residencial reúne edificações diversas, realizadas por várias empresas e com projetos arquitetônicos distintos, mas todas integradas à estrutura ecológica local. A drenagem aproveita a topografia do terreno e é visível desde as áreas mais altas até o canteiro central mais baixo. A infraestrutura verde inclui jardins de chuva, telhados verdes e biovaletas que auxiliam na infiltração e retenção da água, além de uma sequência de pequenos diques nas áreas em declive, projetados para conter as águas pluviais. A área também é contígua a um parque que preserva a Floresta Negra, formando uma conexão vital entre as áreas verdes urbanas e as áreas naturais que circundam a cidade (Herzog; Rosa, 2010).

Os **corredores verdes** são áreas abertas que estabelecem conexões entre espaços naturais, formando faixas lineares que promovem o conceito de sustentabilidade. Esses espaços são projetados com diversos propósitos ecológicos, recreativos, culturais, estéticos e produtivos, sendo capazes de reabilitar ambientes degradados, reformulando o tecido urbano e a paisagem, ao mesmo tempo que incentivam a interação das pessoas com a natureza (Morsch; Mascaró; Pandolfo, 2017)

Como infraestruturas verdes, os **corredores verdes** servem como habitats para uma variedade de espécies de flora e fauna, além de desempenharem um papel vital na drenagem urbana. Entre suas categorias, destaca-se o "corredor verde fluvial", que se estende ao longo de cursos d'água urbanos, promovendo a revitalização e a valorização de rios frequentemente esquecidos (Minks, 2013).

No mesmo princípio, as **ruas verdes** são vias dotadas de árvores que incorporam um design holístico e multifuncional, adequado ao contexto paisagístico local. Essas ruas realizam o manejo das águas pluviais, minimizando o escoamento superficial e a poluição difusa. A intensidade do tráfego de veículos é reduzida, priorizando a circulação de pedestres, com sinalização tanto visual quanto física que garantem a segurança e a acessibilidade. Essas infraestruturas verdes têm a capacidade de interligar áreas verdes e aprimorar a qualidade dos espaços urbanos, aumentando a conexão das pessoas com os ambientes naturais ao seu redor (Morsch, 2017).

Os **jardins de chuva** são ecossistemas artificiais projetados para captar águas pluviais provenientes de superfícies vizinhas. Esses sistemas oferecem diversos benefícios, como a retenção e filtragem das águas, além de contribuir para a diminuição do escoamento superficial.

Por sua vez, os alagados construídos são instalações que recebem águas poluídas, transformando sua qualidade ao facilitar a retenção e remoção de contaminantes, promovendo, assim, a purificação da água. Ambas as infraestruturas verdes são fundamentais para a gestão eficiente da água e para a proteção dos ecossistemas locais (Herzog, 2013).

A Cidade de Seul, na Coreia do Sul, desenvolveu um **plano estratégico para promover um crescimento sustentável**, que tem como visão "Reviver os rios para a nova Coreia!". O rio CheongGyeCheon, que antes era canalizado sob as vias de tráfego, agora se destaca como um elemento fundamental em áreas destinadas a pedestres. Seul removeu as estradas, restaurou o córrego e proporcionou à população um corredor verde ao longo de suas margens, que se encontram entre três e cinco metros abaixo do nível da rua. Essa revitalização não apenas transformou a paisagem urbana, mas também contribuiu para a melhoria da qualidade de vida, criando um ambiente mais saudável e acessível para os cidadãos (Morsch, 2017).

### 3.7 Infraestrutura resiliente

Uma estratégia eficaz de adaptação às mudanças climáticas envolve a identificação da exposição do país aos impactos climáticos atuais e futuros, fundamentando-se em projeções climáticas robustas. Essa estratégia deve incluir uma análise detalhada da vulnerabilidade a esses potenciais impactos além da definição de ações e diretrizes específicas para promover a adaptação em cada setor (Publica, 2016).

A incorporação de projeções climáticas é fundamental ao longo de toda a vida útil de um projeto, desde sua concepção até sua desativação, que pode ocorrer várias décadas depois. Utilizando conjuntos de dados climáticos reduzidos estatisticamente, é possível prever impactos em nível local, o que é essencial, pois os efeitos das mudanças climáticas podem variar significativamente, mesmo dentro de municípios e regiões. A resiliência climática é aprimorada quando os projetos de infraestrutura consideram e planejam antecipadamente as mudanças climáticas esperadas (Brilhante, 2024).

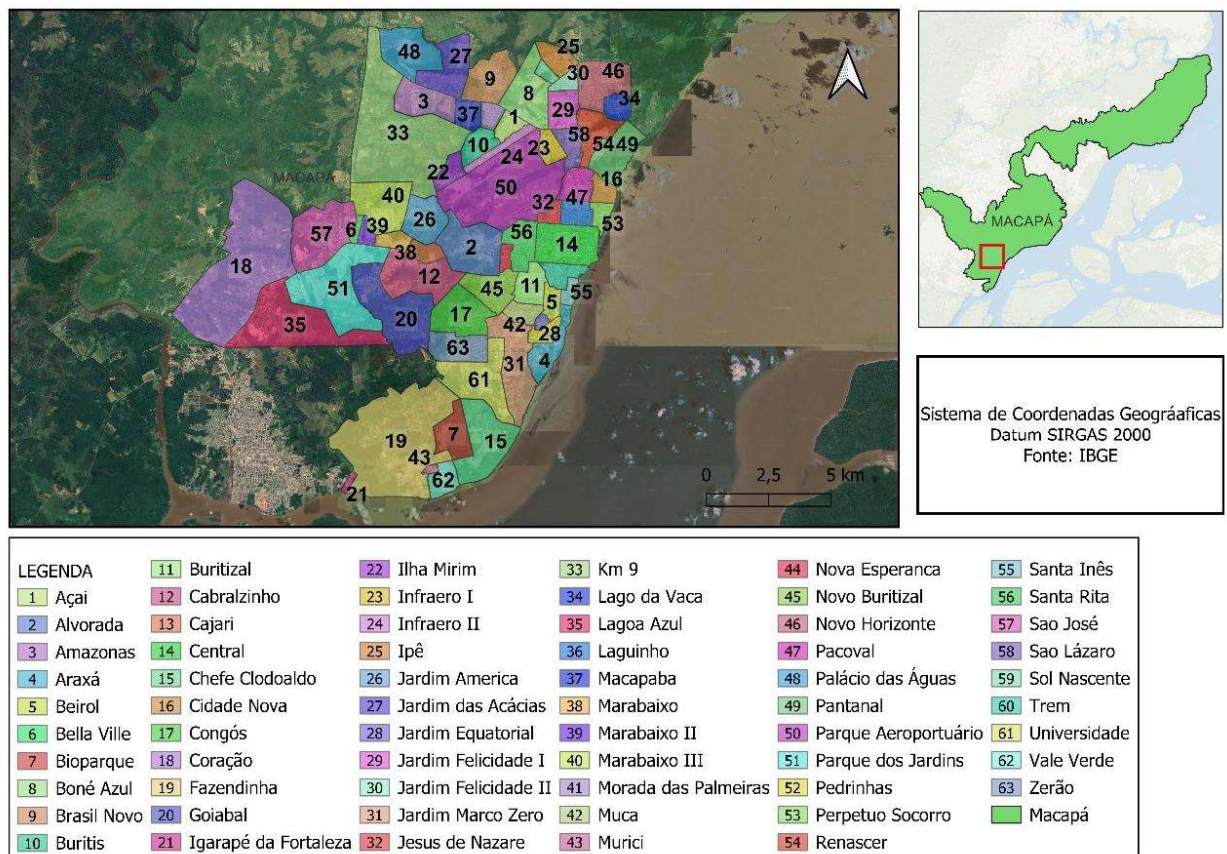
Pesquisas evidenciam que a falta de vegetação em áreas urbanas é uma das causas que está diretamente ligada com a formação de ilhas de calor resultando em temperaturas elevadas nas cidades. A vegetação está concentrada em sua maioria em parques ou praças recreativas (Eleftheria Alexandri, 2008). Portanto, a integração de elementos verdes na infraestrutura urbana é uma medida primordial para elevar a resiliência climática.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Área de Estudo

O município de Macapá, capital do estado do Amapá, possui 6.563,849 km<sup>2</sup> de território, com uma população residente de 442.933 pessoas. De acordo com o Instituto Trata Brasil (2024), Macapá apresenta índices preocupantes em relação ao saneamento básico. O abastecimento de água, por exemplo, atende apenas 54,38% da população, bem abaixo da média nacional de 95,68%. Em termos de esgoto, apenas 8,05% da cidade possui coleta e 22,17% do esgoto é tratado, valores significativamente inferiores aos padrões recomendados. Esses dados revelam a necessidade urgente de melhorias na infraestrutura de saneamento em Macapá, a fim de atender às demandas da população e garantir condições adequadas de saúde e qualidade de vida.

Figura 1 - Mapa da Zona Urbana de Macapá



Fonte: Autor, 2024.

## 4.2 Método de coleta de Dados

A fim de obter as respostas acerca da problematização desta pesquisa, foi realizado um levantamento bibliográfico sobre modelos de infraestruturas resilientes no mundo. Temas como mudanças climáticas, resiliência urbana, sustentabilidade, planejamento ambiental, infraestrutura urbana e infraestrutura verde, por exemplo, serviram como referência para compreender seus impactos no bem-estar da população e como a Infraestrutura verde ajuda no enfrentamento das mudanças climáticas e melhoria da infraestrutura resiliente. As pesquisas foram feitas em bases de dados como o Scielo, Scopus, Google Acadêmico e Web of Science. A pesquisa considerou teses, dissertações, periódicos e livros. O levantamento de dados foi feito de dezembro de 2024 a janeiro de 2025, e abrangendo documentos publicados a partir de 2020. Assim, garantiu atualidade do tema, bem como assegurou um grande volume de dados.

Por meio do site da Defesa Civil foram coletados dados sobre as áreas do município de Macapá que são mais afetadas durante as mudanças de estações do ano e identificada as áreas de riscos para inundações e focos de calor: zonas e/ou bairros.

Para avaliar locais para implementação da infraestrutura verde, foram utilizados os dados espaciais dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) a fim de mapear áreas potenciais da zona urbana de Macapá e para melhor entendimento foi utilizado o software QGIS para elaboração de mapas, levando em consideração a presença de áreas verdes, o uso do espaço pela comunidade local e a viabilidade econômica.

### 4.3 Método de Análise de Dados

Para analisar os dados da pesquisa bibliográfica foram correlacionados os locais com forte infraestrutura verde e os locais com infraestrutura tradicional. Os indicadores foram:

- Resiliência climática e adaptação que é medida como a cidade está preparada para enfrentar eventos climáticos extremos, como ondas de calor, inundações, tempestades ou secas que consiste na existência de estratégias e políticas públicas voltadas à adaptação e mitigação dos efeitos das mudanças climáticas na cidade.

- Uso de soluções baseadas na natureza (como jardins de chuva, telhados verdes, sistemas de drenagem sustentável) para aumentar a resiliência da cidade.

A análise das obras destacou as principais técnicas mencionadas sobre infraestruturas verdes e resiliência. Com o auxílio de planilhas eletrônicas, foram tabuladas as regiões baseadas na sua infraestrutura predominante para se comparar os indicadores mencionados e definir as principais diferenças.

Os dados da Defesa Civil foram avaliados por meio de planilhas eletrônicas de vulnerabilidade climática dos bairros ou regiões de Macapá em relação a eventos climáticos extremos, como ondas de calor, chuvas fortes e alagamentos. Quanto à estruturação, a planilha foi organizada por bairros ou regiões da cidade e incluiu colunas que representam diferentes variáveis que indicam vulnerabilidades climáticas.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da pesquisa bibliográfica mostraram que atualmente existem diversos modelos de infraestruturas verdes no mundo, assim não existe um número exato de modelos ou uma classificação universalmente aceita, porém, de acordo com as pesquisas realizadas para este trabalho, foram escolhidos 12 modelos de infraestruturas verdes mais difundidos

globalmente que foram subdivididos em 3 categorias; 1) Infraestrutura Verde Urbana: são técnicas usadas na construção de casas, ruas e edifícios. 2) Infraestrutura verde-Azul para Gestão da Água: são técnicas focadas na gestão de águas pluviais e 3) Infraestrutura verde para Ecossistemas: são técnicas focadas na melhoria e aprimoramento da cobertura vegetal da cidade.

## 5.1 Infraestrutura Verdes Urbana

O primeiro modelo de infraestrutura verde a surgir foram os **telhados e paredes verdes** (Quadro 1), há cerca de 500 a.c. Os famosos Jardins Suspensos da Babilônia são um dos primeiros registros de estruturas semelhantes a telhados verdes (Vijayaraghavan, 2015). Nas zonas urbanas, os telhados verdes surgiram como uma solução para inserir vegetação nas cidades sem o acúmulo de espaços da rua (Santamouris, 2014). Esse tipo de infraestrutura verde além dos benefícios ambientais como melhoria da sensação térmica e combate a ilhas de calor urbana, promovem a biodiversidade dentro do contexto urbano (Sheweka *et al*, 2011).

Os **Jardins Botânicos e Estações de Pesquisas** (Quadro 1) nasceram em diferentes locais, sua criação foi impulsionada pela necessidade humana de estudo de plantas para fins medicinais. Com a expansão do conhecimento, o conceito moderno de jardins botânicos surgiu na Itália com objetivo de estudos farmacêuticos e botânicos, com o Orto Botanico di Pisa em 1543 e o Jardim Botânico de Pádua em 1545. No Brasil, começou com o Jardim Botânico do Rio de Janeiro em 1808, Jardim Botânico de Brasília e a estação de pesquisas do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia em 1952 (Gov.br, 2014).

Os **Sistemas de Agricultura urbana e Jardins Comunitários** (Quadro 1) ganharam notoriedade no final do século XIX como resposta às crises econômicas e à Segunda Guerra Mundial. Estes problemas levaram a população à criação desses jardins coletivos que ao longo do tempo sofreram algumas modificações em diferentes locais (Boukharaeva, 2005).

Durante a Segunda Guerra Mundial, a escassez por alimentos levou a necessidade de aumentar a produção principalmente nas áreas urbanas, o que levou a adoção de hortas comunitárias em muitos países da Europa (Boukharaeva, 2005). Os jardins comunitários são infraestruturas verdes bem tradicionais e que em geral sua função passou do abastecimento próprio para o lazer, mesmo a legislação local estabelecendo regras e normas que especificam a área para o cultivo de alimentos (Richter, 2022). Hoje em dia, esses sistemas de infraestruturas verdes desempenham papéis importantíssimos na promoção da segurança alimentar,

sustentabilidade e educação ambiental. Estes modelos se adaptam a diferentes locais dependendo de suas especificidades.

Quadro 1 - Infraestruturas Verdes Urbanas

Infraestruturas	Vantagens	Desafios
Telhados e Paredes Verdes	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Isolamento térmico e redução de consumo energético</li> <li>● Melhoria na Qualidade do ar</li> <li>● Gestão de águas pluviais</li> <li>● Biodiversidade e habitat urbano</li> <li>● Benefícios estéticos e psicológicos</li> <li>● Valorização imobiliária</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Investimento inicial elevado</li> <li>● Manutenção constante</li> <li>● Estrutura do edifício</li> <li>● Desafios de irrigação e drenagem</li> <li>● Seleção das plantas</li> </ul>
Jardins Botânicos e Estações de Pesquisa	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Conservação da biodiversidade, Educação e conscientização</li> <li>● Pesquisa científica</li> <li>● Restauro de ecossistemas</li> <li>● Turismo e recreação</li> <li>● Promoção da pesquisa agrícola e medicinal</li> <li>● Sustentabilidade e mitigação das mudanças climáticas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Investimento inicial elevado</li> <li>● Manutenção contínua</li> <li>● Recrutamento e treinamento de pessoal especializado</li> <li>● Desafios com a conservação de espécies</li> <li>● Espaço e adequação do terreno.</li> </ul>
Agricultura Urbana e Jardins Comunitários	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Acesso a alimentos frescos e saudáveis</li> <li>● Redução da pegada de carbono</li> <li>● Fortalecimento da comunidade</li> <li>● Melhoria do ambiente urbano</li> <li>● Educação e conscientização</li> <li>● Economia doméstica</li> <li>● Promoção da biodiversidade.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Investimentos iniciais</li> <li>● Manutenção contínua</li> <li>● Espaço limitado</li> <li>● Desafios técnicos</li> <li>● educativos</li> <li>● Riscos ambientais.</li> </ul>

Fonte: Autor, 2025

## 5.2 Infraestrutura Verde-Azul para Gestão da Água

Os **Pavimentos Drenantes** (Quadro 2) são um modelo de infraestrutura azul que visa minimizar o escoamento superficial em vias urbanas através da drenagem e infiltração da água da chuva. Registros indicam sua primeira aparição na França em 1940, quando foram feitos protótipos em concreto asfáltico drenante. Todavia, este projeto não obteve sucesso pela qualidade do ligamento asfáltico (componente de mistura), agregado com um elevado número de pequenas rochas que constituíam a camada permeável. No final de 1970 esses pavimentos voltaram a receber atenção para o desenvolvimento de estudos e pesquisas (Baratto, 2024).

O pavimento drenante, devido a sua composição de camadas permeáveis, facilita a entrada e o armazenamento da água. Por esse motivo, ele é uma das infraestruturas verdes-azuis mais utilizadas no combate a inundações e alagamentos em grandes cidades pela sua alta

capacidade de diminuir o volume de escoamento superficial, também auxilia na melhoria da qualidade da água captada (IMHOF, 2022).

As **Zonas Úmidas construídas** (Quadro 2) ou wetlands são infraestruturas usadas no tratamento de água. A técnica consiste no uso de plantas que resistam a tratamentos com agentes poluentes. esse tratamento ajuda a diminuir ou acabar com os efeitos negativos de vários agentes contaminantes, tanto no solo quanto na água (Krutz et al., 2009). Utilizada no tratamento de águas residuárias, esse modelo ganhou destaque por ser uma alternativa completa e sustentável de fitorremediação, pois seu processo envolve atividades químicas, físicas e biológicas deixando o efluente tratado e seguro para posteriormente ser despejado no corpo hídrico (Hassan et al, 2021).

O potencial do destino final do tratamento de efluentes das zonas úmidas construídas vão desde a irrigação de áreas de plantio no ramo agrícola até o aumento da biodiversidade de plantas e animais, visto que essas zonas úmidas atraem microrganismos e como processo natural, microrganismos formam colônias, aliado a vegetação das zonas úmidas constituem habitats promissores para uma ampla diversidade de espécies (Hassan et al, 2021).

A aplicação dessa infraestrutura tem chamado atenção por ser uma alternativa limpa e natural no tratamento de efluentes. A engenharia genética de plantas e microrganismos tem estudado maneiras de aumentar a resistência de plantas no processo de fitorremediação dos efluentes. o tratamento dos efluentes pelas zonas úmidas pode obter melhores resultados se for feito com outros processos especializados como o de membrana e biorreatores, essa possibilidade aumentaria o tratamento que outras tecnologias não conseguem resolver. As zonas úmidas promovem a sustentabilidade, combatem a poluição e permite a recuperação de corpos hídricos (Da Silva, 2024).

Os **Sistemas de Reuso da água da chuva** (Quadro 2) são infraestruturas antigas e foram utilizados por diversas civilizações como uma forma de aproveitar ao máximo a água da chuva em locais com escassez hídrica. Atualmente, o uso deste modelo é variado e pode ocorrer de maneira direta que consiste no reuso da água tratada para irrigação ou usos industriais e a indireta que é a mais utilizada pela maioria da população que é a água residual posteriormente despejada no meio ambiente, decorrente dos usos com higiene, alimentação etc (Mancuso, 2003).

Nesse contexto, os sistemas de reuso da água da chuva são uma infraestrutura que conserva a água da chuva para fins alternativos. É uma solução que permite que a água potável não seja utilizada para outros fins senão consumo humano, visto que as águas tratadas dos sistemas de reuso da água da chuva possuem fins industriais, agrícolas, urbanos, meio ambiente

e abastecimento de aquíferos como apresentado pelo conceito de “Substituição de fontes”, que trata da substituição de água da chuva servida para substituir água potável disponível, segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 2004).

Os **Jardins de Drenagem** (Quadro 2) utilizam plantação estratégica de espécies arbustivas que buscam reter e infiltrar águas pluviais através do solo, funcionam como pequenas bacias de retenção, onde a água da chuva é coletada e infiltrada no solo, em vez de ser direcionada diretamente para as redes de esgoto ou corpos d'água. Foi observado que durante uma chuva de 12 horas, em estudo de caso desenvolvido no Centro cultural de Fundação Progresso, no Rio de Janeiro, os jardins de drenagem 1 e 2 conseguiram absorver o volume drenado e o 3 excedeu um pouco da sua capacidade, porém a água excedente escorreu pelas áreas de saída sem haver transbordamento (Carvalho, 2021). Os jardins de drenagem são de suma importância no manejo de águas pluviais e prevenção de alagamentos e enchentes (Caprario et al., 2019).

Quadro 2 - Infraestrutura Verde-Azul para Gestão da Água

Infraestruturas	Vantagens	Desafios
Pavimentos Drenantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestão eficiente das águas pluviais</li> <li>• Redução da poluição da água</li> <li>• Mitigação do efeito de "ilha de calor"</li> <li>• Aumento da recarga dos lençóis freáticos</li> <li>• Sustentabilidade e conformidade com normas ambientais</li> <li>• Redução de custos com infraestrutura de drenagem</li> <li>• Aumento da vida útil das infraestruturas urbanas</li> <li>• Estética e integração com a natureza.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investimento inicial elevado</li> <li>• Necessidade de projeto especializado</li> <li>• Manutenção periódica</li> <li>• Durabilidade e desgaste</li> <li>• Possível custo de adaptação.</li> </ul>
Zonas Úmidas Construídas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamento natural de águas residuais</li> <li>• Gestão das águas pluviais</li> <li>• Aumento da biodiversidade</li> <li>• Mitigação das mudanças climáticas</li> <li>• Estabilidade e resiliência dos ecossistemas urbanos</li> <li>• Espaços educativos</li> <li>• baixo custo de operação.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investimento inicial significativo</li> <li>• Manutenção e gestão</li> <li>• Espaço e localização</li> <li>• Potencial para acúmulo de sedimentos e contaminantes</li> <li>• Desafios de adaptação em ambientes urbanos</li> <li>• Riscos de propagação de doenças</li> </ul>
Sistemas de Captura e Reuso de Água da Chuva	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Economia de água potável</li> <li>• Redução de enchentes e alagamentos</li> <li>• Sustentabilidade ambiental</li> <li>• Baixo impacto ambiental</li> <li>• Redução de custos</li> <li>• Autossuficiência e resiliência</li> <li>• Aproveitamento para diversas finalidades.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investimento inicial</li> <li>• Manutenção e limpeza</li> <li>• Espaço para instalação</li> <li>• Custo de tratamento</li> <li>• Limitações na quantidade de água coletada</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Riscos de contaminação</li> <li>• Possíveis custos regulatórios.</li> </ul>
jardins de drenagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestão sustentável das águas pluviais</li> <li>• Melhoria da qualidade da água</li> <li>• Redução da sobrecarga nos sistemas de drenagem urbana</li> <li>• Aumento da biodiversidade urbana</li> <li>• Valor estético e paisagístico</li> <li>• Redução do efeito de "ilha de calor"</li> <li>• Baixo custo operacional</li> <li>• Promoção de práticas de sustentabilidade e educação ambiental.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investimento inicial em design e construção</li> <li>• Escolha de plantas e insumos</li> <li>• Manutenção periódica</li> <li>• Riscos de falhas no projeto</li> <li>• Desafios climáticos e ambientais</li> <li>• Possíveis custos regulatórios.</li> </ul>

Fonte: Autor, 2025

### 5.3 Infraestrutura verde para Ecossistemas

As **Florestas Urbanas** e a **Arborização Urbana** (Quadro 3) se desenvolveram ao longo da história, como reflexo das relações antrópicas e o ambiente natural das cidades. Introduzido por Erik Jorgensen em 1970, o conceito moderno de floresta urbana descreve o conjunto de todas as espécies de árvores que se encontram nas áreas urbanas, incluindo ruas, parques e outras áreas verdes (Magalhães, 2006). No Brasil, elas foram reconhecidas como bens naturais que provêm diversos serviços ecossistêmicos para a sociedade como a melhoria da qualidade do ar, a regulação da temperatura e a promoção do bem-estar social.

Os **Parques Urbanos Multifuncionais** (Quadro 3) se desenvolveram ao longo da história como necessidade de melhorar as condições ambientais nas cidades. Inicialmente surgiram como espaços saudáveis em meio à crescente industrialização e poluição das cidades. No século XIX, esses locais passaram a desempenhar diferentes funções, não só o lazer, como também a conservação ambiental e promoção da qualidade de vida urbana (Meulam, 2017).

Os **Restauradores de Ecossistemas** (Quadro 3) são técnicas para a restauração de ambientes degradados e a conservação e preservação de ambientes florestais e mananciais. O objetivo desta ação, motivada pela ONU, é tornar o mundo um lugar onde a interação entre humano e natureza não seja conflituosa e sim harmoniosa, promovendo a sustentabilidade e interrompendo a degradação de ecossistemas (Chazdon *et al.*, 2022).

O nome desse modelo de infraestrutura verde é bem intuitivo e seus benefícios vão além da proteção da biodiversidade, a restauração de ecossistemas representa a melhoria do bem-estar e qualidade de vida no contexto urbano. A restauração de áreas degradadas promove a saúde através dos serviços ecossistêmicos das áreas recuperadas (Felipe; Silveira, 2019).

Os **sistemas agroflorestais** (Quadro 3) são modelos de infraestruturas verdes que visam integrar o agronegócio com os compromissos ambientais, visto que os sistemas de agroflorestas são projetados como uma floresta natural junto com espécies comerciais. Dentre os mais variados sistemas agroflorestais estão: sistemas simples e complexos. Os sistemas simples são um tipo de manejo de baixa intensidade com poucas espécies de plantas, os complexos são dotados de alta biodiversidade e sistema de manejo mais elaborado (Miccollis *et al.*, 2016).

Em uma projeção de 20 anos, os sistemas agroflorestais com café no sistema 1 e pupunha e banana no sistema 2, demonstram fluxos positivos de caixa, o que aponta que os sistemas de agroflorestas são viáveis para desenvolvimento econômico na região brasileira. São ótimas alternativas para tornar uma agricultura sustentável ao mesmo tempo em que promove a alimentação saudável e acessível para as pessoas (Garcia *et al.*, 2021).

Os **Corredores Ecológicos** (Quadro 3) atuam como uma “ponte” da fauna e flora, pois conecta habitats diferentes permitindo o fluxo de espécies. Essa conectividade é muito importante para diversas espécies de animais se alimentarem, reproduzir e permitir o fluxo gênico. Ajudam na sustentabilidade ambiental da cidade por reduzir os impactos negativos de atividades humanas e a fragmentação da paisagem, além de prestar diversos serviços ecossistêmicos melhorando o bem-estar da cidade (Metzger, 1999).

É preferível que áreas maiores sejam escolhidas para implementação dos corredores, porém áreas de pequeno porte também podem sofrer fragmentação e possuem biodiversidade genética importante para o meio ambiente, pois esses fragmentos podem ser conectados a outras áreas garantindo proteção da biodiversidade e fluxo entre espécies (Ferreira; Carneiro, 2022).

Quadro 3 - Infraestrutura Verde para Ecossistemas

Infraestruturas	Vantagens	Desafios
Florestas Urbanas e Arborização	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualidade do ar</li> <li>• Redução de temperatura</li> <li>• Biodiversidade</li> <li>• Bem-estar psicológico e físico</li> <li>• Valorização imobiliária</li> <li>• Gestão de águas pluviais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manutenção e cuidados contínuos</li> <li>• Espaço e planejamento urbano</li> <li>• Custos iniciais elevados</li> <li>• Custo com gestão de resíduos</li> <li>• Gestão de Fauna.</li> </ul>
Parques Urbanos Multifuncionais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualidade de vida e bem-estar</li> <li>• Gestão das águas pluviais</li> <li>• Acessibilidade e mobilidade</li> <li>• Espaços educativos e culturais</li> <li>• Valorização imobiliária</li> <li>• Atração de turismo</li> <li>• Integração social e comunitária.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investimento inicial elevado</li> <li>• Manutenção contínua</li> <li>• Planejamento e espaço limitado</li> <li>• Gestão de múltiplos usos</li> <li>• Impacto no tráfego e na infraestrutura local.</li> </ul>
Restauradores de Ecossistemas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recuperação da biodiversidade</li> <li>• Mitigação das mudanças climáticas</li> <li>• Proteção de recursos hídricos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investimento inicial</li> <li>• Tempo de recuperação</li> <li>• Desafios logísticos e técnicos</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da resiliência ambiental</li> <li>• Geração de benefícios econômicos e Educação</li> <li>• Conscientização</li> <li>• Melhoria da qualidade de vida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Custo de manutenção</li> <li>• Possíveis conflitos de uso da terra</li> <li>• Necessidade de capacitação.</li> </ul>
Infraestruturas Baseadas em Agroflorestas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da biodiversidade</li> <li>• Melhoria da qualidade do solo</li> <li>• Apoio à mitigação das mudanças climáticas</li> <li>• Diversificação da produção agrícola</li> <li>• Redução da necessidade de insumos externos</li> <li>• Resiliência a eventos climáticos extremos</li> <li>• Serviços ecossistêmicos adicionais</li> <li>• Fortalecimento das comunidades locais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investimento inicial alto</li> <li>• Tempo necessário para recuperação da produção</li> <li>• Complexidade na gestão</li> <li>• Risco de falhas no planejamento</li> <li>• Manutenção contínua</li> <li>• Necessidade de capacitação</li> <li>• Espaço e adequação do terreno.</li> </ul>
Corredores Ecológicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preservação da biodiversidade</li> <li>• Recuperação de ecossistemas fragmentados</li> <li>• Facilitação do movimento de espécies</li> <li>• Mitigação dos efeitos das mudanças climáticas</li> <li>• Prevenção de "efeito de ilha"</li> <li>• Benefícios para as comunidades locais</li> <li>• Conservação de serviços ecossistêmicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investimento inicial elevado</li> <li>• Gestão e manutenção</li> <li>• Conflitos com atividades humanas</li> <li>• Espaços limitados em áreas urbanas</li> <li>• Monitoramento e avaliação</li> </ul>

Fonte: Autor, 2025

Todos os modelos citados surgiram com determinado propósito, uns para fins estéticos, outros para sobrevivência e outros para conservação. Hoje em dia, esses modelos, se implementados de maneira correta, são defesas fundamentais no combate às mudanças climáticas e resiliência da infraestrutura urbana. A efetividade dessas infraestruturas será maior se usadas em conjunto.

As Infraestruturas verdes urbanas podem intensificar e melhorar a atuação das infraestruturas verdes-azuis, por exemplo: os telhados e paredes verdes são compostos por camadas de vegetação e substratos criando uma barreira natural que absorve a água da chuva, evitando que ela seja diretamente escoada para os sistemas de drenagem urbanos. em uma cidade em que o regime pluvial é intenso como Macapá. Essa combinação se faz necessária para não sobrecarregar os sistemas de drenagem e posteriormente criar alagamentos.

Outra combinação é a integração de florestas urbanas com parques urbanos multifuncionais que por sua vez podem ser conectadas com corredores ecológicos, porque cria-se uma rede verde contínua que conecta diferentes áreas da cidade, como praças, jardins e parques permitindo que as espécies, como insetos, aves e mamíferos, se desloquem de forma segura entre diferentes áreas verdes, ajudando a manter a biodiversidade e a saúde ecológica ao criar micro-habitats, permitindo que uma variedade de espécies nativas e polinizadores, como abelhas e borboletas, prosperem.

Todas essas integrações fortalecem o vínculo entre ser humano e natureza, e ajudam na conscientização e sensibilização dentro das cidades. Macapá é a capital do estado mais bem preservado do Brasil, todas essas soluções baseadas na natureza podem não só diminuir a pegada ecológica da cidade como também combater o Aquecimento Global e as mudanças climáticas.

## 5.4 Bairros Vulneráveis em Macapá

Segundo dados da Coordenadoria Geral da Defesa Civil de Macapá, foram identificadas aproximadamente 33 áreas de risco. Os bairros Novo Horizonte, São Lázaro, Pantanal, Cidade Nova, Perpétuo Socorro, Pacoval, Jardim Felicidade I, Laguinho, Santa Rita, Centro e Novo Buritizal estão no radar de monitoramento, especificamente por alagamentos no período chuvoso (CEDEC, 2023).

As áreas de ressaca tornam-se o destino natural para as águas escoadas. Essas áreas, frequentemente localizadas em zonas baixas ou de maior vulnerabilidade, funcionam como reservatórios temporários, absorvendo grande parte da água da chuva. No entanto, a falta de infraestrutura adequada para o manejo dessas águas pode resultar em alagamentos e impactos ambientais, prejudicando a qualidade de vida da população e sobrecarregando os sistemas urbanos de drenagem.

A pesquisa de Vasconcelos, Flores e Cunha (2024), na Região Metropolitana de Macapá, mostrou que a partir do ano 2000, algumas áreas passaram por transformações notáveis. As variáveis urbana (urb), savânica (sav) e transição de superfície de água (tsa) apresentaram mudanças estatisticamente relevantes ao longo dos últimos 30 anos. Isso significa que essas áreas sofreram variações associadas a fatores como crescimento urbano, desmatamento ou alterações nos corpos d'água. A variável urbana (urb) teve um crescimento significativo, indicando um aumento da urbanização na região. Esses dados indicam que Macapá passou por um processo de urbanização e modificação de suas paisagens naturais desde os anos 2000-2019. A expansão urbana sem planejamento adequado tem contribuído para a impermeabilização do solo e o aumento da frequência de inundações, conforme observado no crescimento das áreas urbana (urb) e savânica (sav) nas últimas décadas.

A cidade, em virtude do crescimento desordenado e da falta de um planejamento urbano adequado, enfrenta sérios desafios relacionados à ocupação de suas áreas de preservação permanente (APPs), muitas das quais estão situadas em zonas de ressaca (Costa; Samora, 2023).

O atraso no desenvolvimento do plano diretor tem agravado essa situação, resultando em frequentes invasões dessas áreas, onde são construídas moradias irregulares. Tanto o processo de construção quanto as próprias habitações geram o descarte de materiais que causam danos significativos ao meio ambiente, como resíduos sólidos e substâncias tóxicas. Além de prejudicar a qualidade ambiental, esse tipo de ocupação altera a dinâmica ecológica das APPs, compromete sua função de absorção e retenção de água, o que, por sua vez, contribui para o agravamento dos alagamentos na cidade (Nascimento, 2024).

A ausência de planejamento urbano também se reflete no sistema de saneamento. Atualmente, há 8,05% de domicílios com esgoto coletado e apenas 22,17% do esgoto é tratado (Trata Brasil, 2023). Esses índices revelam a fragilidade da infraestrutura urbana, agrava problemas como alagamentos, poluição e condições insalubres, afetando diretamente a qualidade de vida dos cidadãos.

Os alagamentos geram uma série de problemas para a cidade e seus habitantes. O contato com as águas pluviais alagadas pode levar ao surgimento de diversas doenças. Além disso, essas áreas criam condições ideais para a proliferação do mosquito transmissor da dengue, aumentando o risco de surtos, com grave ameaça à saúde pública (Freitas, 2022).

No período de verão, outro problema crescente que tem impactado a cidade de Macapá nos últimos anos são as ilhas de calor. Esse fenômeno, caracterizado pelo aumento excessivo das temperaturas em áreas urbanas, devido à falta de vegetação, tem gerado sérios desconfortos para a população. Por estar situada na região amazônica, a cidade possui um clima tropical, caracterizado por altas temperaturas e umidade constante. Entre 2014 e 2024, bairros de Macapá registraram aumentos significativos nos índices de temperatura na mancha urbana (Vilhena, 2024).

Todas essas questões evidenciam como a adoção de soluções baseadas na natureza são necessárias para aumentar a resiliência da cidade. Em uma cidade como Macapá, onde o sistema de drenagem é insuficiente, a infraestrutura verde é fundamental na gestão da água da chuva. Ajudam a reduzir a quantidade de água superficial, promovendo a absorção e infiltração da água no solo. Essas medidas naturais podem diminuir a carga sobre os sistemas de drenagem existentes, reduzindo o risco de alagamentos nos períodos chuvosos e melhorando a sensação térmica no verão em áreas vulneráveis.

Além disso, a restauração de ecossistemas, como as áreas de ressaca e criação de Parques Urbanos, contribui para a preservação dos habitats naturais que desempenham um papel fundamental na absorção de água da chuva, atenuando os impactos de enchentes e melhorando a qualidade da água.

Especialmente durante o verão, a infraestrutura verde pode mitigar esse efeito, proporcionando áreas de sombra. A vegetação urbana tem a capacidade de resfriar o ambiente por meio da evapotranspiração, no qual as plantas liberam vapor d'água, promovendo o resfriamento natural da cidade. A criação de parques urbanos multifuncionais, que integram vegetação nativa e áreas de lazer, também contribui para a renaturalização das áreas urbanas, oferecendo refúgios de frescor para a população, especialmente nos horários de pico de calor.

## 5.5 Infraestrutura verde para Macapá

Considerando a relevância de cada abordagem, foram definidos modelos com micro-abrangência (focando em ruas e prédios) e macro-abrangência (abrangendo zonas e bairros). Esses modelos visam oferecer serviços ecossistêmicos em diferentes escalas, permitindo a gestão tanto em locais específicos quanto os padrões mais amplos que impactam a área em questão.

Os modelos com micro-abrangência (Figura 2) como os telhados verdes e paredes verdes e os jardins de drenagem são como uma introdução a infraestrutura verde uma vez que sua abrangência se restringe a ruas, casas e prédios, sendo uma ótima alternativa a ser abordada no plano diretor de Macapá, ao projetar esses modelos em prédios onde na sua maioria se concentra o fenômeno das ilhas de calor e em ruas com frequência de alagamentos e maior tráfego urbano.

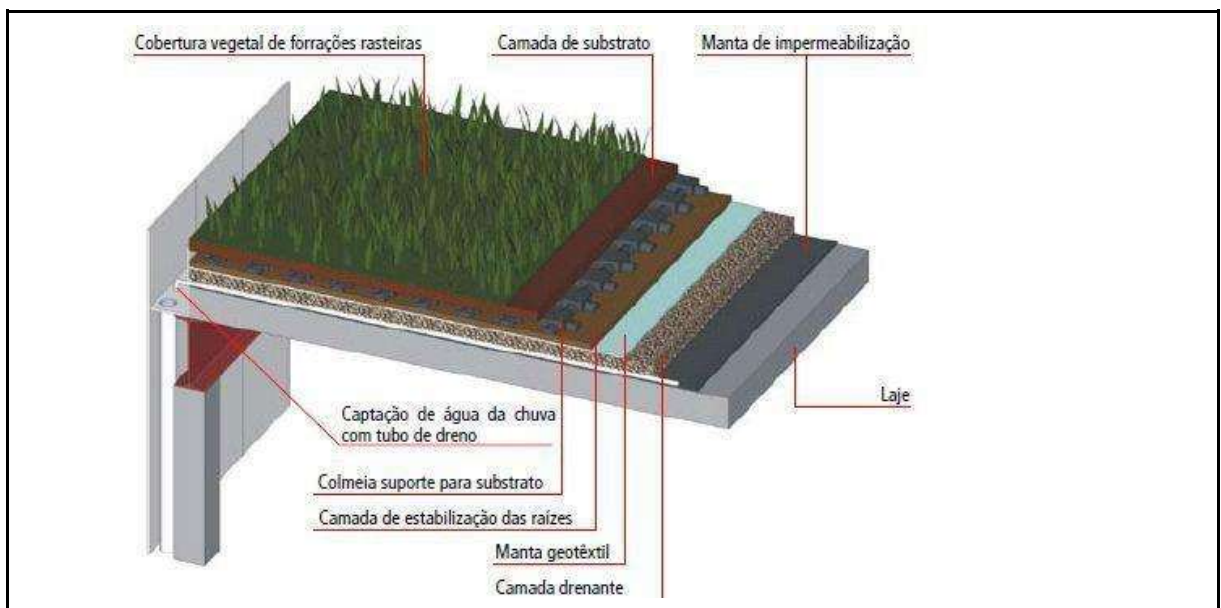
Os bairros escolhidos foram os que apresentaram maiores índices de aumento de temperatura que são Centro e bairros próximos, como Jardim felicidade II e Pacoval (Vilhena, 2024) e pontos de alagamentos no Novo Horizonte, São Lázaro, Pantanal, Cidade Nova, Perpétuo Socorro, Pacoval, Jardim Felicidade I, Laguinho, Santa Rita e Novo Buritizal (CEDEC, 2024). Todos esses bairros apresentam algumas áreas rebaixadas, que são ocupadas ilegalmente. Em 2020, antes da nova lei de criação dos novos bairros, dentre os 28 bairros existentes, a maioria dos bairros analisados (23) (82,14%) estavam de alguma forma expostos a áreas de risco, enquanto uma pequena parcela (5) (17,86%) permaneceu livre dessas condições (Sousa; Cunha; Cunha, 2021).

As áreas rebaixadas de Macapá representaram cerca de 41,37% dos pontos de alagamentos identificados, representando um aumento significativo no crescimento na área urbana com aglomerados subnormais por conseguinte falhas na drenagem urbana (Sousa *et al* 2023). Identificado pela categoria “áreas inundadas”, representaram 27,58% dos pontos de

inundação na mesma pesquisa, fator diretamente relacionado com os aglomerados subnormais de ocupações desordenadas que também são influenciados pelas baixas taxas de elevação do terreno (Sousa *et al.*, 2023).

Os modelos de telhados verdes (Figura 2) e paredes verdes (Figura 3) desenvolvidos por Sacramento (2023) e Concept Greenwall (2025) respectivamente, funcionam através da camada de substrato que atua como um filtro natural, retendo partículas sólidas, poluentes atmosféricos e metais pesados presentes na água da chuva. Essa retenção impede que esses poluentes sejam carregados para as redes de drenagem urbana, melhorando a qualidade da água que atinge os corpos hídricos. As plantas presentes nos telhados verdes e paredes verdes absorvem parte da água da chuva pelas raízes, reduzindo o volume de escoamento superficial. Além disso, as plantas podem remover alguns poluentes da água pelo processo de fitorremediação, retardar o escoamento da água da chuva, diminuindo o pico de vazão nas redes de drenagem urbana o que ajuda a prevenir inundações e alagamentos, especialmente em áreas urbanas com alta impermeabilização do solo.

Figura 2 – Modelo de Telhado verde



Fonte: Sacramento (2023).

Figura 3 - Modelo Parede verde



Fonte: Concept Greenwall by Marlo (2025).

O modelo jardim de chuva (Figura 4) desenvolvido pela Editorial Team (2020) pode ser usado como base para os projetos na área de estudo. O modelo é representado por Faixa de rolamento e ciclovias. A água da chuva escoam pelas ruas e calçadas, carregando resíduos e poluentes para o jardim de chuva através das bocas de lobo a água entra com facilidade, a borda rebaixada permite que a água escoem para a área verde, reduzindo o impacto do escoamento superficial e prevenindo alagamentos.

A camada vegetal de plantas adaptadas ajuda a filtrar sedimentos e absorver poluentes, além de promover a infiltração da água no solo. Por baixo encontra-se a camada de substrato permeável composta por areia e solo orgânico, que facilita a absorção da água e promove a retenção de nutrientes, que vem seguido pela camada de pedra e drenagem que retém partículas maiores e melhora a infiltração, evitando entupimentos e garantindo a purificação da água antes de atingir o lençol freático. O excesso de água pode ser direcionado de forma segura para drenagem urbana ou lençóis freáticos, reduzindo impactos ambientais.

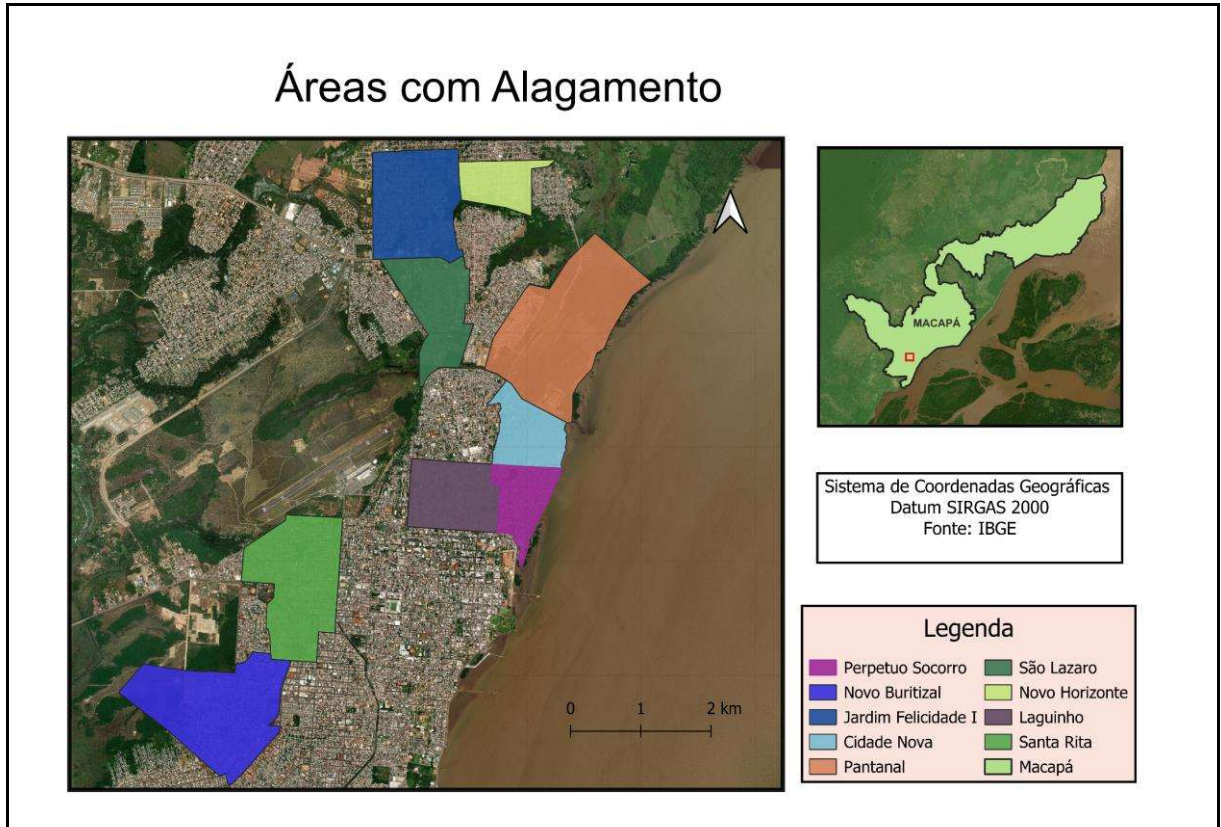
Figura 4 - Modelo Jardim de chuva



Fonte: Editorial team, 2020

A zona central da cidade possui as menores quantidade de áreas arborizadas, portanto são mais suscetíveis a fenômenos de ilhas de calor e alagamentos. Os Telhados Verdes, Paredes Verdes e Jardins de Chuva foram os modelos de Micro-Abrangência escolhidos e distribuídos em diferentes partes para maior impacto dentro da zona central (Figura 5) buscando mitigar os impactos das ondas de calor e alagamentos, bem como melhorar o bem-estar urbano local. As áreas destacadas são aquelas mais afetadas por alagamentos, sendo locais estratégicos para a implementação de IVs. A maioria das áreas afetadas está próxima ao centro urbano e às margens do rio Amazonas, tornando necessária a adoção de soluções baseadas na natureza. Os bairros mais próximos ao rio podem se beneficiar com a **restauração de ecossistemas** de áreas de várzea, enquanto bairros mais urbanizados precisam de soluções para melhorar a drenagem e reduzir a impermeabilização como os **Telhados e Paredes verdes e Jardins de Drenagem**.

Figura 5 - Mapa locais para implementação de Infraestruturas Verdes



Fonte: Autores, 2025

A cidade possui consideráveis fragmentos de floresta na zona urbana (Figuras 6 e 7). Com o objetivo de conservar essas áreas, foram escolhidos dois modelos de infraestruturas verdes com macro-abrangência pensando no maior impacto em zonas ou bairros. Os polígonos marcados em verde representam essas áreas prioritárias para preservação ambiental e criação de parques urbanos multifuncionais e florestas urbanas. Essas regiões são fundamentais para a conservação da biodiversidade, a regulação do clima e o controle de enchentes na cidade. Estão localizadas principalmente nas extremidades da cidade e próximas a áreas naturais já existentes.

Figura 6 - Áreas Arborizadas da Zona Norte



Fonte: Google Earth Pro, 2025

Figura 7 - Áreas Arborizadas da zona Sul



Fonte: Google Earth Pro, 2025

Os Parques Urbanos multifuncionais criam espaços de lazer, recreação e conservação ambiental. Podem incluir lagos, trilhas, áreas esportivas e vegetação nativa. Além de melhorar a qualidade do ar e mitigar ilhas de calor, podem ser projetados para suportar eventos climáticos extremos e servir como drenagem natural evitando alagamentos. As Florestas Urbanas são alternativa para melhoria do microclima da cidade, pois o plantio de árvores absorve carbono e fortalece a biodiversidade local. Com temperaturas elevadas e alta umidade, a cidade pode se beneficiar com a redução das ilhas de calor, melhor qualidade do ar e sombras.

## 6 CONCLUSÃO

Este estudo apresentou os modelos de Infraestruturas verdes que podem ser implementados na cidade de Macapá para torná-la mais resiliente frente às mudanças climáticas. O ponto principal foi mostrar que existem soluções baseadas na natureza que podem elevar o bem-estar humano na cidade e promover a sustentabilidade. Desde que surgiram, as Infraestruturas verdes ajudaram a humanidade em diferentes locais e regiões, sendo uma aliada natural tanto na estética das cidades quanto na sobrevivência humana. As hipóteses foram testadas e confirmadas que as infraestruturas verdes são as tecnologias naturais mais eficientes no combate às mudanças climáticas. Os objetivos da pesquisa foram cumpridos e os seus resultados indicam que a cidade necessita de um planejamento urbano adequado levando em consideração suas áreas de risco e a possibilidade de introdução das infraestruturas verdes.

Os custos de implantação de infraestruturas verdes ainda representam um desafio significativo para sua ampla adoção, especialmente em contextos urbanos com restrições orçamentárias. Estudos apontam que telhados verdes extensivos variam entre 50 e 200 €/m<sup>2</sup>, enquanto os intensivos demandam investimentos de até 500 €/m<sup>2</sup>. Já fachadas e jardins verticais podem apresentar uma ampla variação de custos, indo de 10 a 2800 €/m<sup>2</sup>, conforme a tecnologia empregada e a complexidade do sistema (Cruz; Silva; Teotónio., 2018; Peck; Kuhn, 2010; Peng; Jim, 2015; Sproul et al., 2014; William et al., 2016; BIANCHINI; HEWAGE, 2012a).

Macapá tem potencial para o desenvolvimento de uma infraestrutura resiliente através das infraestruturas verdes. Esta pesquisa, sobre os modelos de infraestruturas verdes, os locais vulneráveis e os tipos de infraestruturas que podem ser usadas na área de estudo, possui um potencial para a gestão urbana da cidade e também um possível subsídio para o novo Plano Diretor. Vale ressaltar que, todas as propostas apresentadas foram baseadas em estudos genéricos que foram ajustados para área de estudo, que devem servir como base para pesquisas mais aprofundadas, como viabilidade econômica e social das áreas e dos modelos, estudos arquitetônicos dos locais, entre outros métodos que podem avançar o conhecimento nessa área.

## REFERÊNCIAS

ARNELL, N. Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*, v. 14, p. 31-52, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2003.10.006>. Acesso em: 5 ago. 2024.

BARATTO, N. Coleta e aproveitamento de água de chuva, através de pavimentos drenantes para fins não potáveis: estudo de caso em pátio de estacionamento. Universidade Federal de Santa Catarina. 2024 disponível em: [TCC\\_NicoleSantiniBaratto.pdf](#). Acesso em: 19 fev. 2025.

BRASIL. Cidades verdes resilientes. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/cidades-verdes-resilientes>. Acesso em: 6 nov. 2024.

BRASIL. Plano nacional de adaptação. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/planos-de-adaptacao>. Acesso em: 6 nov. 2024.

BENEDICT, M.; McMAHON, E. Green infrastructure: Linking landscapes and communities. Washington, 2006. v. 1. p. 287. Disponível em: <https://books.google.com/books?id=rXNKwLIPqVYC>. Acesso em: 7 ago. 2024.

BRILHANTE, O. Estratégias para a otimização de projetos de infraestrutura crítica para aumentar a resiliência urbana às mudanças climáticas. *O Jornal de Pesquisa Científica e de Engenharia*, Universidade de Arkansas, v. 11, n. 6, p. 107-123, 2024. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/336929223\\_Strategies-for-the-Optimization-of-Critical-Infrastructure-Projects-to-Enhance-Urban-Resilience-to-Climate-Change](https://www.researchgate.net/publication/336929223_Strategies-for-the-Optimization-of-Critical-Infrastructure-Projects-to-Enhance-Urban-Resilience-to-Climate-Change). Acesso em: 20 set. 2024.

BIANCHINI, F.; HEWAGE, K. How “green” are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials. *Building and Environment*, v. 48, n. 1, p. 57–65, 2012. Disponível em: <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.08.019>. Acesso em: 29 abr. 2025.

BORRAS Jr, S. et al. Climate change and agrarian struggles: an invitation to contribute to a JPS Forum. *The Journal of Peasant Studies*, v. 49, n. 1, p. 1-28, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03066150.2021.1956473>. Acesso em: 3 set. 2024.

BONATTO, D. Infraestrutura verde: contribuição para o planejamento urbano e regional. *Melhores práticas em planejamento urbano e regional*, São Paulo, v. 1, p. 339-351, 2019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/335413945\\_INFRAESTRUTURA\\_VERDE\\_CONTRIBUICAO\\_PARA\\_O\\_PLANEJAMENTO\\_URBANO\\_E\\_REGIONAL](https://www.researchgate.net/publication/335413945_INFRAESTRUTURA_VERDE_CONTRIBUICAO_PARA_O_PLANEJAMENTO_URBANO_E_REGIONAL). Acesso em: 13 ago. 2024.

BORGES, A. Vivendo de forma mais segura: uma análise dos impactos das políticas públicas de defesa civil na gestão de redução de riscos de desastres na promoção de desenvolvimento social e econômico. 2022. Disponível em:

<https://repositorio.esg.br/bitstream/123456789/1569/1/CAEPE.04%20TCC%20VF.pdf>. Acesso em: 7 set. 2024.

BOUKHARAEVA, L. *et al.* Agricultura Urbana como um Componente do desenvolvimento Humano Sustentável: Brasil, França e Rússia. Caderno de ciência e tecnologia. v. 2; p. 413-425. 2005. Disponível em: 8677-28925-1-PB (1).pdf. Acesso em: 17 fev. 2025.

CAPRARIO, J *et al.* Influence of drainage network and compensatory techniques on urban flooding susceptibility. Water Sci Technol. v. 6, p. 79. 2019. Disponível em: [10.2166/wst.2019.113](https://doi.org/10.2166/wst.2019.113). Acesso em: 20 fev. 2025.

CARVALHO, F. Análise quantitativa de sistemas de drenagem urbana sustentável: Jardim de chuva-RJ. Anais IV Euro Elecs. v. 1, p. 469. 2021. Disponível em: [Vista do ANÁLISE QUANTITATIVA DE SISTEMA DE DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL.](#). Acesso em: 20 fev. 2021.

CEDEC. A Defesa Civil monitora 33 áreas de risco de alagamentos em Macapá. 2023. Disponível em: [Portal Governo do Amapá - Defesa Civil estadual monitora 33 áreas de risco de alagamentos em Macapá.](#) Acesso em: 25 fev. 2025.

CONCEPT GREEN WALL, Paredes verdes. 2025. Disponível em: [Página inicial - Concept Green Wall - Verde Verticale - giardini verticale - Bosco verticale.](#) Acesso em: 15 mar. 2025.

CORMIER, S.; PELLEGRINO, P. Infraestrutura verde: uma estratégia paisagística para a água urbana. Paisagem e Ambiente, v. 25, p. 127-142, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.23595361.v0i25p127142>. Acesso em: 8 set. 2024.

COSTA, C; SAMORA, P. Formas urbanas para áreas de conflito socioambiental em APP's: modelos para desafios das áreas de ressaca de Macapá-AP. Revista de morfologia urbana. v. 11, p. 1. 2023. Disponível em: [Vista do Formas urbanas para áreas de conflito socioambiental em APP's | Revista de Morfologia Urbana.](#) Acesso em: 28 fev. 2025.

COSTA, L.; MANESCHY, R.; CANTO, L. O processo de expansão urbana e seu impacto na cobertura vegetal de Macapá. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 15, p. 694-709, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.2.p694-709>. Acesso em: 12 out. 2024.

CHAZDON, L *et al.* Experiências de governança da Restauração de Ecossistemas em paisagens no Brasil. Estudos avançados. v. 36, p. 106. 2022. Disponível em: DOI: 10.1590/s0103-4014.2022.36106.013. Acesso em: 19 fev. 2025.

CRUZ, C. O.; SILVA, C. M.; TEOTÓNIO, I. Green infrastructures: cost benefit analysis [Infraestruturas verdes: análise custo benefício]. Lisbon: IST Press - Instituto Superior Técnico, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110111> Acesso em: 29 Abr. 2025.

DA SILVA, J *et al.* Wetlands construídos: tecnologia verde para a gestão de efluentes industriais. Novas tecnologias no tratamento de águas industriais. Editora Poisson. 2024. Disponível em: [Tratamento\\_aguas.pdf](#). Acesso em 19 fev. 2025.

DA SILVA SANTOS, K; OLIVEIRA, B.; IGNOTTI, E. Mudanças climáticas e suas relações com o uso da terra no município de Alta Floresta-Amazônia Meridional Brasileira. Biodiversidade Brasileira, v. 11, n. 3, 2021. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/354743201\\_Mudancas\\_Climaticas\\_e\\_Suas\\_Relacoes\\_com\\_o\\_Uso\\_da\\_Terra\\_no\\_Municipio\\_de\\_Alta\\_Floresta\\_-\\_Amazonia\\_Meridional\\_Brasileira](https://www.researchgate.net/publication/354743201_Mudancas_Climaticas_e_Suas_Relacoes_com_o_Uso_da_Terra_no_Municipio_de_Alta_Floresta_-_Amazonia_Meridional_Brasileira). Acesso em: 17 out. 2024.

DE CASIMIRO, L.; JEREISSATI, L. Smart cities e mudanças climáticas no Brasil: debates e tensões no âmbito da gestão urbana contemporânea. *A & C-Revista de Direito Administrativo & Constitucional*, v. 22, n. 88, p. 201-232, 2022. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/363195371\\_Smart\\_cities\\_e\\_mudancas\\_climaticas\\_no\\_Brasil\\_debates\\_e\\_tensoes\\_no\\_ambito\\_da\\_gestao\\_urbana\\_contemporanea\\_Smart\\_cities\\_and\\_climate\\_change\\_in\\_Brazil\\_debates\\_and\\_tensions\\_in\\_contemporary\\_urban\\_management](https://www.researchgate.net/publication/363195371_Smart_cities_e_mudancas_climaticas_no_Brasil_debates_e_tensoes_no_ambito_da_gestao_urbana_contemporanea_Smart_cities_and_climate_change_in_Brazil_debates_and_tensions_in_contemporary_urban_management). Acesso em: 28 ago. 2024.

EDITORIAL TEAM. Jardim de chuva: projeto com guia técnica. Portal Biblus. 2020. Disponível em: [Jardim de chuva: projeto com guia técnica - BibLus](#). Acesso em: 15 mar. 2025.

ECYCLE. Cidades Resilientes e adaptações às Mudanças Climáticas. 2023. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/cidades-resilientes-adaptacao-climatica>. Acesso em: 6 nov. 2024.

ELEFThERIA ALEXANDRI, P. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*, v. 43, p. 480-493, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.055>. Acesso em: 29 ago. 2024.

ENGLER, E. Resiliência (N) - Um desafio multidimensional para infraestruturas marítimas. *Nase More*, v. 65, p. 123-129, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.17818/NM/2018/2.8>. Acesso em: 17 set. 2024.

FELIPE, M; SILVEIRA, B. Ambientes restauradores: conceitos e pesquisas em contexto de saúde. v. 1. 2019. Disponível em: [AMBIENTES RESTAURADORES: CONCEITOS E PESQUISAS EM CONTEXTOS DE SAÚDE | Request PDF](#). Acesso em: 19 fev. 2025

FLETCHER, T. et al. The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, v. 12, n. 7, p. 525–542, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314>. Acesso em: 23 set. 2024.

FERREIRA, D; CARNEIRO, P. Corredores Ecológicos e proteção da biodiversidade Brasileira. *Revista fronteiras interdisciplinares do direito*. v. 1, n. 1. 2022. Disponível em: [Vista do Corredores ecológicos e a proteção da biodiversidade brasileira](#). Acesso em 21 fev. 2025.

FREITAS, S. Levantamento da ocorrência de doenças de veiculação hídrica e sua relação com zonas alagadas no período chuvoso no município de Itacoatiara- AM. Universidade Federal do Amazonas-UFAM. 2022. Disponível em: [TCC SamaraFreitas.pdf](#). acesso em: 28 fev. 2025

GARCIA, T. *et al.* Viabilidade financeira de sistemas agrofloretais biodiversos no centro Oeste Brasileiro. v. 10, n. 4. 2021. Disponível em: [Visão da viabilidade financeira de sistemas agrofloretais biodiversos no Centro-Oeste brasileiro](#) . Acesso em: 21 fev. 2025.

GOV.BR. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2014. Disponível em: [História — Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro](#). Acesso em: 11 fev. 2025

HASSAN RADHI, M. Trade-off between environmental and economic implications of PV systems integrated into the UAE residential sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 16, p. 2468-2474, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.048>. Acesso em: 14 set. 2024.

HASSAN, I *et al.* Wastewater Treatment Using Constructed Wetland: Current Trends and Future Potential. v. 9, p. 11. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/pr9111917>. Acesso em: 19 fev. 2025.

HERZOG, C.; ROSA, L. Infraestrutura verde: sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana. *Revista Labverde*, v. 1, p. 92-115, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-2275.v0i1p92-115>. Acesso em: 12 out. 2024.

- HERZOG, C. P. Cidades para todos: (re)aprendendo a conviver com a natureza. *Revista Labverde*, v. 6, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-2275.v0i6p266-266>. Acesso em: 12 out. 2024.
- HILAL, M. The game changer in the Gulf Cooperation Council Region. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 76, p. 555-576, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.048>. Acesso em: 18 out. 2024.
- HOLLING, C. Engenharia resiliência versus resiliência ecológica. Washington: Imprensa Acadêmica Nacional, 1996. v. 1, p. 31-44. Disponível em: [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=Engineering+Resilience+Versus+Ecological+Resilience&author=Holling,+C.S.&publication\\_year=1996](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Engineering+Resilience+Versus+Ecological+Resilience&author=Holling,+C.S.&publication_year=1996). Acesso em: 04 out. 2024.
- UN-HABITAT. Nova agenda urbana. Quito, 2016. Disponível em: [unhabitat.org/pt-pt/the-new-urban-agenda-illustrated](http://unhabitat.org/pt-pt/the-new-urban-agenda-illustrated). Acesso em: 12 out. 2024.
- IMHOF, A *et al.* Pavimentos drenantes: estudo de caso sobre peças de concreto permeável do tipo *paver* intertravado poroso. *Revista da UNIFEBE*. v. 1, n. 27, p. 376. 2022. Disponível em: [PAVIMENTOS DRENANTES: ESTUDO SOBRE PEÇAS DE CONCRETO PERMEÁVEL DO TIPO PAVER INTERTRAVADO POROSO | Revista da UNIFEBE](#). Acesso em 19 fev. 2025.
- IBGE. Instituto brasileiro de Geografia e Estatísticas. IBGE Cidades: Macapá. 2023. Disponível em: [cidades.ibge.gov.br/brasil/ap/macapa](http://cidades.ibge.gov.br/brasil/ap/macapa). Acesso em: 17 jan. 2025.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Queimadas – Monitoramento dos focos ativos por estado. 2020. Disponível em: [http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal-static/estatisticas\\_estados](http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal-static/estatisticas_estados). Acesso em: 14 out. 2024.
- INMET. 1992. Disponível em: [INMET :: Tempo](#). Acesso em: 10 out 2024.
- INMET. 2012. Disponível em: [INMET :: Tempo](#). Acesso em: 10 out 2024.
- INMET. 2020. Disponível em: [INMET :: Tempo](#). Acesso em: 10 out 2024.
- IPCC. Painel Intergovernamental sobre as Mudanças Climáticas. Relatório Síntese. 2023. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_SYR\\_LongerReport\\_PO.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport_PO.pdf) Acesso em: 08 ago. 2024.
- KRUTZ, J *et al.* Enhanced Atrazine Degradation: Evidence for Reduced Residual Weed Control and a Method for Identifying Adapted Soils and Predicting Herbicide Persistence. *Weed Science*. v. 4, p. 57. 2009. Disponível em: [Enhanced Atrazine Degradation: Evidence for Reduced Residual Weed Control and a Method for Identifying Adapted Soils and Predicting Herbicide Persistence | Weed Science | Cambridge Core](#). Acesso em: 10 fev. 2025.
- LEANDRO, F. Base teórica e ideias práticas para a construção de um parque para o desenvolvimento sustentável. Dissertação de Mestrado, Universidade de Évora, 2001. v. 1, p. 143. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10174/15199>. Acesso em: 03 nov. 2024.
- LIU, W. et al. Resiliência em sistemas de infraestrutura: uma revisão abrangente. *Buildings*, v. 12, p. 759, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/buildings12060759>. Acesso em: 23 out. 2024.
- LOCHHEAD, H. Resiliência por design: os processos inovadores podem oferecer mais? *Procedia Engenharia*, v. 7-15, p. 180, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.160>. Acesso em: 15 ago. 2024.

MANCUSO, P. Reuso da Água. editora Manole Ltda. 2003 Disponível em: [Reúso de água - Pedro Caetano Sanches Mancuso - Google Livros](#). Acesso em: 19 fev. 2025.

MAGALHÃES, L. Arborização e Florestas Urbanas-terminologia adotada para a cobertura arbórea das cidades brasileiras. *Floresta e Ambiente*. p.23-26, 2006. Disponível em: [STFAv02.a2](#). Acesso em: 17 fev. 2025.

MELO JUNIOR, D. Mapeamento e análise multitemporal do uso e cobertura da terra da região da cidade de Macapá/AP. *Ciência Geográfica*, v. 1, p. 14, 2017. Disponível em: [https://www.agbbauru.org.br/publicacoes/revista/anoXXI\\_2/agb\\_xxi\\_2\\_versao\\_internet/Revista\\_AGB\\_xxi\\_2-13.pdf](https://www.agbbauru.org.br/publicacoes/revista/anoXXI_2/agb_xxi_2_versao_internet/Revista_AGB_xxi_2-13.pdf) . Acesso em: 26 out. 2024.

MEULAM, J. *Et al.* A importância dos parques lineares nos centros urbanos. Encontro científico cultural interinstitucional 1 encontro internacional. 2017. Disponível em: [JULIE CRISTINA DE OLIVEIRA MEULAM-juliemeulam.enf@hotmail.com-1](#) . Acesso em: 17 fev. 2025.

METZGER, J. Estrutura de paisagem e fragmentação: Análise bibliográfica. *Anais da academia brasileira de ciências*. v. 71, n. 3. 1999. Disponível em: [ReP USP - Detalhe do registro: Estrutura da paisagem e fragmentação: análise bibliográfica](#). Acesso em: 21 fev. 2025.

MICCOLLIS, A. *et al.* Restauração ecológica em sistemas agroflorestais: como conciliar a conservação com produção: opções para Cerrado e Caatinga. Centro Internacional de Pesquisa Aglorestal (ICRAF). 2016. Disponível em: [Restauração ecológica com sistemas agroflorestais: como conciliar conservação com produção: opções para Cerrado e Caatinga. - Portal Embrapa](#). Acesso em 21 fev. 2025.

MINKS, V. A rede de design verde urbano: uma alternativa sustentável para megacidades? *Revista LABVERDE*, São Paulo, v. 7, p. 120-141, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-2275.v0i7p120-141>. Acesso em: 25 out. 2024.

MOHAMMED, M. The built environment resilience qualities to climate change impact: concepts, frameworks, and directions for future research. *Sustainable Cities and Society*, v. 80, p. 103797, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103797>. Acesso em: 13 set. 2024.

MORSCH, M.; MASCARÓ, J.; PANDOLFO, A. Sustentabilidade urbana: recuperação dos rios como um dos princípios da infraestrutura verde. *Ambiente Construído*, v. 17, p. 305-321, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212017000400199>. Acesso em: 29 out. 2024.

NASCIMENTO, P; *et al.* Impacto da influência da microdrenagem no trecho da Avenida Marcílio Diaz com a rua São José no bairro Julião Ramos no município de Macapá. *Revista científica multidisciplinar do CEAP*. v. 6, n. 1. 2024. Disponível em: [Vista do IMPACTO DA INEFICIÊNCIA DA MICRODRENAGEM NO TRECHO DA AVENIDA MARCÍLIO DIAS COM RUA SÃO JOSÉ NO BAIRRO JULIÃO RAMOS NO MUNICÍPIO DE MACAPÁ](#). Acesso em: 28 fev. 2025.

ODS 9. Objetivos para o desenvolvimento sustentável: Objetivo 9 - Cidades resilientes. 2024. Disponível em: ODS 9: Construir infraestruturas resilientes - eCycle. Acesso em: 06 ago. 2024.

PECK, S.; KUHN, M. Design guidelines for green roofs. Toronto, ON: Canada Mortgage and Housing Corporation; Ontario Association of Architects, 2010. Disponível em: <https://www.eugene-or.gov/DocumentCenter/View/1049/Design-Guidelines-for-Green-Roofs> . Acesso em: 29 abr. 2025.

PENG, L. L. H.; JIM, C. Y. Greening economic evaluation of green-roof environmental benefits in the context of climate change: the case of Hong Kong. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 14, n. 3, p. 554–561, 2015. Disponível em: <http://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.05.006>. Acesso em: 29 abr. 2025.

PÚBLICA. Versão Pós-Consulta. Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima. 2016. Disponível em: [antigo.mma.gov.br/clima/adaptacao/plano-nacional-de-adaptacao.html](http://antigo.mma.gov.br/clima/adaptacao/plano-nacional-de-adaptacao.html). Acesso em: 17 ago. 2024.

RICHTER, M. *et al.* Hortas urbanas - História, classificação, benefícios e perspectivas. *OpenEdition Journals*. v. 55, 2022. Disponível em: [Hortas urbanas – História, Classificação, Benefícios e Perspectivas..](#) Acesso em: 17 fev. 2025.

SANTAMOURIS, M. Cooling the cities - Review PF refletivo and green roof mitigation technologies to fight heat island and improv confort in urban environments. *Solar Energy*. 2014. v. 103, p. 682-703. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003>. Acesso em: 18 fev. 2025.

SANTOS, A. *et al.* Risco e vulnerabilidade da biodiversidade maranhense relacionados ao clima. *Revista OCS*, v. 17, p. 2551-2555, 2017. Disponível em: [ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/2459](http://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/2459). Acesso em: 16 out. 2024.

SAARONI, H. J. Urban green infrastructure as a tool for urban heat mitigation: survey of research methodologies and findings across different climatic regions. *Urban Climate*, v. 24, p. 94-110, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.02.001>. Acesso em: 02 nov. 2024.

SALIMI, M.; AL-GHAMDI, S. Impactos das mudanças climáticas em infraestruturas urbanas críticas e urbanas estratégias de resiliência para o Oriente Médio. *Cidades e Sociedade Sustentáveis*, v. 54, p. 101948, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101948>. Acesso em: 10 set. 2024.

SEMIL. Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística. Os Jardins Botânicos ao longo da História. 2020. Disponível em: [Portal de Educação Ambiental](#). Acesso em: 11 fev. 2025

SEEG. Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. Novas estimativas do SEEG Brasil – Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa. 2018. Disponível em: [http://plataforma.seeg.eco.br/total\\_emission](http://plataforma.seeg.eco.br/total_emission). Acesso em: 04 nov. 2024.

SHEWEKA, S *et al.* The living walls as an approach for a healthy urban environment. *Energy prouc*. v. 6, p. 592-599. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.05.068> . Acesso em: 18 fev. 2025.

SANSAVINI, G. Engenharia de resiliência em infraestruturas críticas. In: *Resiliência e risco: métodos de aplicação nos domínios ambiental, cibernético e social*, v. 1, p. 189-203, 2017. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-024-1123-2\\_6](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-024-1123-2_6) . Acesso em: 12 set. 2024.

SILVA, J. *et al.* The sustainability of development pathways and climate change vulnerability in the Americas. *Ecological Economics*, v. 220, p. 108164, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2024.108164>. Acesso em: 05 ago. 2024.

SILVA, M.; ALMEIDA, P. Conforto térmico urbano e mudanças climáticas no planejamento urbano das cidades da Amazônia brasileira. 2024. v. 1, p. 12. Disponível em: [Paper1160.pdf \(uminho.pt\)](#). Acesso em: 17 ago. 2024.

SYNERGIA. Infraestrutura verde e infraestrutura cinza: autossuficiência hídrica. 2022. Disponível em: [Infraestrutura verde e Infraestrutura cinza: autossuficiência hídrica](#). Acesso em: 06 nov. 2024.

SACRAMENTO, T. Telhado verde: entenda como funciona, tipos, benefícios e se inspire com 70 imagens inusitadas. ARKPAD. 2023. Disponível em: [Telhado Verde: Conheça o Processo, Tipos, Vantagens e +70 Imagens](#). Acesso em: 15 mar. 2025.

- SOUSA, T. S; CUNHA, H. F. A; CUNHA, A. C. Risco de Alagamentos Influenciados por Fatores Ambientais em Zonas Urbanas de Macapá e Santana/AP. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*. v. 12, n. 4. 2021. Disponível em: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.004.0021>. Acesso em: 01 abri. 2025.
- SOUSA, T., *et al.* Drainage and Preliminary Risk of Flooding in an Urban Zone of Eastern Amazon. *Journal of Geoscience and Environment Protection*. v. 11, p. 1-16. 2023. Disponível em: DO: 10.4236/gep.2023.115001. Acesso em: 02 abr. 2025.
- SPROUL, J. *et al.* Economic comparison of white, green, and black flat roofs in the United States. *Energy & Buildings*, v. 71, p. 20–27, 2014. Disponível em: <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.058>. Acesso em: 29 abr. 2025.
- INSTITUTO TRATA BRASIL. *Ranking do Saneamento 2024*. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/>. Acesso em: 29 abr. 2025.
- USEPA. United States Environmental Protection Agency, Guidelines for Water Reuse. U.S. Environmental Protection Agency. 2004. Disponível em: [Diretrizes para Reúso de Água | EPA dos EUA](#). Acesso em: 19 fev. 2025.
- WILLIAM, R. *et al.* An environmental cost-benefit analysis of alternative green roofing strategies. *Ecological Engineering*, v. 95, p. 1–9, 2016. Disponível em: <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.091>. Acesso em: 29 abr. 2025.
- VASCONCELLOS, A.; MIYAMOTO, J. Infraestrutura verde: uma revisão de literatura. *Revista Thésis*, v. 8, p. 16, 2023. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/376740350\\_Infraestrutura\\_verde\\_uma\\_revisao\\_de\\_literatura](https://www.researchgate.net/publication/376740350_Infraestrutura_verde_uma_revisao_de_literatura) Acesso em: 01 nov. 2024.
- VASCONCELOS, J. O. M; FLORES, C. A. R; CUNHA, H. F. A. Região metropolitana de Macapá: Expansão Urbana e Impactos Ambientais na Amazônia Setentrional. *Revista Brasileira de Geografia Física*. v. 17, n. 05. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.5.p3314-3229>. Acesso em: 01 abr. 2025.
- VIJAYARAGHAVAN, K. Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends, *renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 57, p. 740-752. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.119>. Acesso em: 18 fev. 2025.
- VILHENA, N. *et al.* Análise da temperatura de superfície terrestre e índice de vegetação por diferença normalizada na área urbana de Macapá-AP. 2024. v. 1, p. 34. Disponível em: <http://bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/3770>. Acesso em: 04 nov. 2024.