

Impacto da Mudança Climática na Amazônia: Estudo de Caso das Secas Extremas em Manaus, seus Efeitos e Desafios na Logística Urbana

Victória Holanda de Brito (PUC-Rio) victoriaholanda@icloud.com
Maria Fernanda Lemos (PUC-Rio) mariafernandalemos@puc-rio.br

Resumo

Este estudo examina a mudança climática na Amazônia, com foco nas secas extremas em Manaus e seus impactos na logística urbana. O principal objetivo é revelar os efeitos dessas secas na logística da cidade e propor soluções de adaptação. As secas extremas representam um grande desafio, afetando a qualidade de vida e a economia local. A pesquisa adota uma abordagem interdisciplinar, integrando engenharia civil, planejamento urbano, ciências ambientais e políticas públicas. Dados coletados de gestores públicos e empresas de transporte forneceram uma base sólida para a análise. Os resultados mostram que a infraestrutura urbana, especialmente a terrestre, é inadequada para enfrentar essas secas. O estudo destaca a necessidade urgente de melhorar a infraestrutura e adotar medidas adaptativas, como a expansão da rede rodoviária e a criação de uma rede ferroviária. A colaboração entre governo, comunidade e setor privado é essencial para promover a resiliência urbana.

Palavras-Chaves: *Mudança Climática; Seca Extrema; Amazônia; Infraestrutura Urbana; Logística Urbana.*

1. Introdução

O Brasil enfrenta riscos crescentes de mudanças climáticas, afetando cidades, especialmente na Amazônia, com impactos locais, nacionais e globais (Jones & Silva, 2018). A Amazônia, vital para a biodiversidade e estabilidade climática, sofre pressões humanas que desafiam a resiliência urbana (Santos *et al.*, 2021). O Sexto Relatório do IPCC destaca a vulnerabilidade da região, um grande depósito de carbono, ao aumento de temperatura, secas e aridez, agravados pelo crescimento urbano desordenado.

Com cerca de 80% da população amazônica em áreas urbanas (IPCC, 2022), o crescimento demográfico global, projetado para 68% até 2050, pressiona a ocupação do solo e da infraestrutura. Cidades amazônicas, como Manaus, são epicentros desses impactos, exigindo melhor compreensão das implicações na infraestrutura urbana (Smith *et al.*, 2020). A

urbanização rápida e a mudança climática intensificam desafios econômicos e sociais, exigindo cidades mais resilientes e agentes de transformação estrutural (Santos *et al.*, 2021).

A pesquisa indica que eventos extremos, como secas prolongadas, estão se intensificando e afetando a resiliência de Manaus. A infraestrutura urbana é vulnerável, especialmente em resposta a esses eventos, e a desigualdade socioeconômica agrava a situação das comunidades mais vulneráveis. O artigo analisa os desafios logísticos urbanos causados por secas extremas e propõe um diálogo sobre a urgência de integrar estratégias adaptativas nas políticas públicas para promover desenvolvimento urbano sustentável em Manaus.

2. Impacto da mudança climática na Amazônia

A Amazônia, a maior floresta tropical contínua do mundo, cobre aproximadamente 5,5 milhões de milhas quadradas em nove países da América do Sul, com predominância no Brasil (Smith & Silva, 2021). Este bioma, rico em biodiversidade com cerca de 16 mil espécies, desempenha um papel vital na regulação climática global, atuando como reservatório de carbono e influenciando padrões climáticos em regiões distantes (Projeto Bioma Amazônia, 2017). A floresta absorve CO₂, libera vapor d'água e produz chuvas essenciais para a América do Sul (INPE, 2020).

No entanto, a Amazônia enfrenta ameaças de desmatamento, queimadas, expansão agrícola e urbanização, que prejudicam sua biodiversidade e capacidade regulatória. A região tem clima tropical úmido, com temperatura média entre 24°C e 26°C, e duas estações: um inverno chuvoso, que eleva os rios, e um verão seco, que impacta a vegetação (Marengo *et al.*, 2018). Fatores globais como El Niño e La Niña afetaram também o clima local, alterando a quantidade de chuvas (Marengo *et al.*, 2018).

Mudanças climáticas resultantes das atividades humanas têm um impacto significativo na Amazônia. A Revolução Regional envolveu o desenvolvimento econômico insustentável, com altas emissões de gases de efeito estufa, reconhecidas na Convenção-Quadro da ONU sobre Mudança do Clima em 1992. O Protocolo de Quioto e, posteriormente, o Acordo de Paris, visaram mitigar esses efeitos, com o Brasil aderindo em 2002 e promulgando o Acordo em 2017.

A Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), estabelecida pela Lei nº 12.187/2009, busca reduzir emissões e preservar a Amazônia, incluindo medidas de mitigação e adaptação para proteger a biodiversidade (Silva, 2010). No entanto, as mudanças climáticas intensificam

as secas extremas, comprometendo os ecossistemas e aumentando os conflitos por recursos. Comunidades indígenas e ribeirinhas enfrentam escassez de água e perda de terras férteis, ameaçando sua subsistência (Davidson *et al.*, 2012). Preservar a Amazônia é urgente para mitigar desequilíbrios climáticos e proteger a biodiversidade (IPCC, 2023).

3. Manaus, a “Paris dos trópicos”

A ocupação humana na Amazônia remonta a milênios, com comunidades indígenas mantendo uma relação simbiótica com a floresta, utilizando seus recursos para alimentação, medicamentos e construção (Smith, 1980). A fundação de Manaus, em 1669, como Forte da Barra do Rio Negro, marcou o início da exploração europeia, resultando em mudanças drásticas na paisagem e deslocamento de populações nativas (Fraxe, Pereira & Witkoski, 2007).

No século XVIII, a urbanização cresceu, atingindo seu auge durante o Ciclo da Borracha, no século XIX e início do século XX, quando a “Belle Époque” de Manaus atraiu migrantes em busca de oportunidades (Barbosa, 1999). A criação da Zona Franca de Manaus (ZFM) em 1967 visou estimular o desenvolvimento econômico por meio de incentivos fiscais, transformando a cidade em um centro industrial (Azevedo, 1997; Hall, 1997). Essa transformação atrai trabalhadores de diversas partes do Brasil, impactando a demografia e a infraestrutura da cidade (Nascimento, 2004; Cavalcante, 2020).

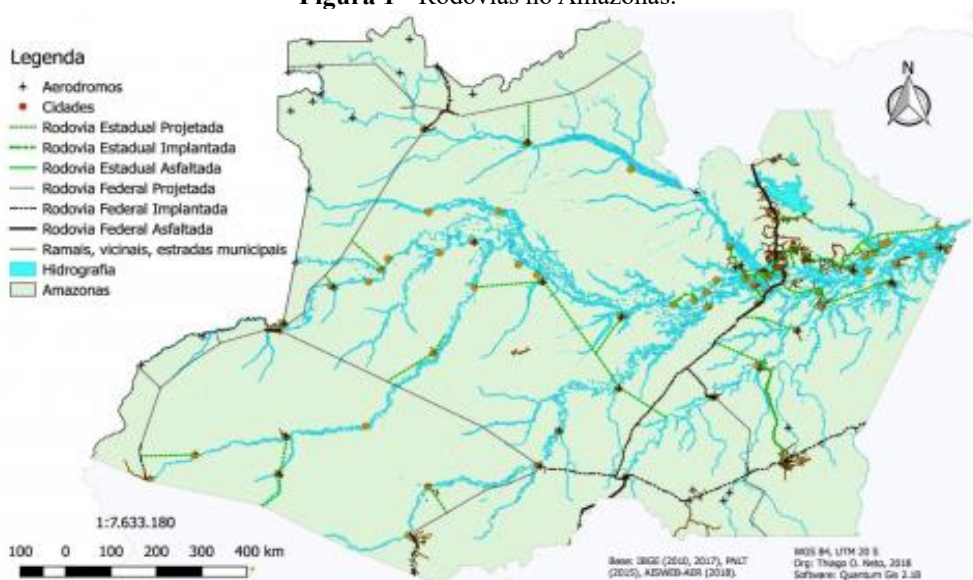
Manaus, com mais de dois milhões de habitantes (IBGE, 2022), exemplifica a diversidade cultural e étnica da Amazônia, abrigando instituições como o Museu do Homem do Norte e o INPA. Entretanto, o crescimento desordenado e as desigualdades sociais impõem desafios que requerem políticas públicas eficazes para promover um futuro sustentável, equilibrando o desenvolvimento econômico e a preservação ambiental (Silva, 2019; Martins, 2020).

3.1 Urbanização e infraestrutura

A urbanização na Amazônia ocorreu em duas fases distintas, influenciadas por rios e rodovias. Uma primeira fase, impulsionada pela economia da borracha, resultou na fundação de cidades como Manaus e Belém, que se tornou centros populacionais e econômicos (Motta, 2002). Na segunda fase, cidades ao longo das rodovias frequentemente careciam de serviços básicos e de infraestrutura, refletindo desigualdade regional (IPAM, 2023). Comunidades ribeirinhas e indígenas enfrentam dificuldades no acesso a serviços essenciais, prejudicando sua qualidade de vida (Laurance, 2009).

Manaus e sua Região Metropolitana (RMM), criada em 2007, incluem 13 municípios e mais de 2,5 milhões de habitantes, cobrindo cerca de 127 mil km², o que representa 10% do estado do Amazonas (Sgambatti Monteiro *et al.*, 2021). Esse arranjo exige planejamento nas áreas de habitação, transporte e saneamento.

Figura 1 - Rodovias no Amazonas.



Fonte: Thiago Oliveira & Ricardo Nogueira, 2019.

A infraestrutura urbana enfrenta desafios, especialmente nas periferias (Oliveira Neto & Nogueira, 2019). Estradas, pontes e transporte fluvial são essenciais para conectar áreas urbanas e rurais, promovendo o desenvolvimento e o acesso a serviços básicos (Silvestrini, 2016). A Bacia Amazônica, com cerca de 7 milhões de km², facilita esse transporte, sendo o Rio Amazonas o mais crucial (Siqueira & Carvalho, 2020).

Manaus depende dos rios Solimões, Amazonas e Negro para o transporte de pessoas e mercadorias, distribuindo alimentos, combustíveis e produtos da Zona Franca (Silva & Lima, 2019). Os rios Madeira e Purus são essenciais para o transporte de cargas e acesso a áreas remotas, essenciais para o escoamento e mobilidade das comunidades ribeirinhas.

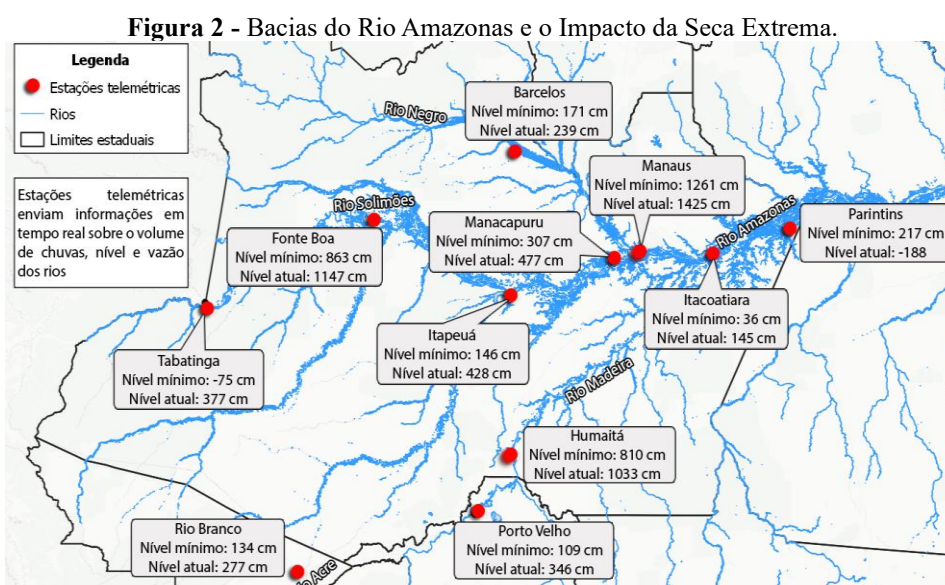
Os desafios logísticos na Amazônia são significativos. Durante secas extremas, a queda no nível dos rios e o assoreamento dificultam a navegação de grandes embarcações (Silva & Santos, 2022). A cabotagem é crucial para conectar Manaus a comunidades ribeirinhas isoladas (ANTAQ, 2023). Na cheia, as rotas se tornam mais acessíveis, mas a falta de infraestrutura viária em Manaus agrava os problemas, especialmente durante as enchentes (DENATRANS,

2020; Figura 1). Com cerca de 10 mil km de malha rodoviária, apenas mil são pavimentadas, refletindo a baixa integração rodoviária na região (Monteiro *et al.*, 2020).

4. Secas extremas: efeitos e desafios na logística urbana manauara

O Rio Amazonas, o maior em volume de água, enfrenta secas que afetam a região. Desde a seca de 1916, que impactou o Rio Negro, até a de 2023, a relação com as mudanças climáticas revela a vulnerabilidade à escassez hídrica (Marengo *et al.*, 2008). Durante essas secas, as cidades racionam água, a navegação é prejudicada e a economia local sofre.

O Rio Negro, com cerca de 2.250 km, é crucial para o equilíbrio ecológico e socioeconômico da região. Suas águas escuras, ricas em matéria orgânica, ecológica o ecossistema local. A redução da vazão impacta a navegabilidade, dificultando o transporte e a captação de água (Marengo *et al.*, 2008). Comunidades ribeirinhas, dependentes do rio, enfrentam riscos à segurança alimentar e bem-estar (Tomasella *et al.*, 2010; Aragão *et al.*, 2018). Entre as maiores secas estão as de 1916, 1926, 1936, 1958, 1963, 1997, 1998, 2005, 2010 e 2023 (Porto de Manaus, 2023).



Fonte: ANA 2023.

Dados do INPE (2023) e do Porto de Manaus (2023) revelam que o Rio Negro atingiu níveis de água historicamente baixos em 2023, agravando a escassez hídrica (Figura 2). As variações anuais do rio evidenciam a gravidade da situação (Sistema Geológico do Brasil, 2023). A

aparência El Niño e o aquecimento do Atlântico Tropical Norte impactaram Manaus, resultando em chuvas significativas (INMET, 2023).

O Rio Madeira, vital para a logística fluvial da Amazônia, transporta sedimentos que influenciam a ecologia e a navegabilidade. A diminuição do volume de água e o acúmulo de sedimentos dificultam a navegação até Manaus, afetando a economia local (Freitas, 2020). A seca de 2023 teve um forte impacto na economia e na biodiversidade, prejudicando o transporte fluvial e aumentando os preços de produtos básicos (G1, 2023).

As bacias do Rio Negro, Solimões e Madeira enfrentam condições críticas, afetando 40% da população de Manaus e 25% do Amazonas. Comunidades ribeirinhas, como Nossa Senhora de Fátima e Santo Antônio, que dependem da navegação para suprimentos, enfrentam dificuldades. O acesso a serviços essenciais caiu para 70% nas áreas mais afetadas (Souza *et al.*, 2023). O CEMADEN (2023) alerta que leva cerca de quatro anos para os rios se recuperarem, evidenciando a vulnerabilidade do Brasil às mudanças climáticas.

4.1 Efeitos e desafios na logística urbana

Manaus, com o segundo maior porto em movimentação de contêineres do Brasil, é essencial para a economia local e da Região Norte (Trompowaky, 2023). A Zona Franca depende de um sistema logístico eficiente para a entrega de matérias-primas e produtos. O Porto de Manaus funciona como um hub estratégico, facilitando o transporte para outros estados e atuando como ponto de distribuição nacional (Trompowaky, 2023).

Monitoramentos por satélite revelaram uma interrupção no fluxo marítimo do Porto durante a seca de 2023. De 8 de outubro a 26 de novembro, apenas um navio foi registrado, em comparação com 18 no mesmo período do ano anterior. Essa seca afetou cerca de 300 mil pessoas, aumentando os custos logísticos em até 25%. A Praia da Ponta Negra perdeu até 40 metros de areia, dificultando o acesso, e a crise hídrica comprometeu o abastecimento e os serviços essenciais (Souza *et al.*, 2023).

A queda nos níveis de água paralisou a navegação, gerando problemas logísticos e acumulando produtos nos portos, o que prejudicou a economia local (Moser *et al.*, 2023; Figura 3). As empresas, então, recorreram ao transporte rodoviário, mas essa alternativa se tornou cara e ineficiente devido à infraestrutura comprometida (Agência Brasil, 2021). Em 2022, a capacidade de navegação foi reduzida em até 50%, e em 2023, a amostra aquaviária caiu cerca de 83% (Portal Amazônia, 2023). O Polo Industrial de Manaus (PIM) deixou de importar US\$ 1

bilhão entre outubro e novembro de 2023, resultando em perdas significativas em impostos (IBGE).

Figura 3 - Comparativo Seca 2023 – Porto de Manaus.



Fonte: Thiago Oliver/G1, 2023.

A construção civil foi a mais afetada, com atrasos na chegada de materiais (CBIC, 2023). O PIB de Manaus cresceu apenas 0,82%, refletindo a seca histórica e mudanças nos hábitos de consumo (A Crítica, 2023). Adaptar-se a essas condições exige modernização no transporte para garantir resiliência logística e crescimento sustentável (Davis & Clark, 2022).

A crise hídrica impactou as comunidades ribeirinhas, prejudicando o escoamento de produtos e a navegação em relação a 2022. Apesar disso, o PIM teve um aumento de 1,17% no emprego (A Crítica, 2023). Adaptar-se à seca extrema exige diversificar e modernizar os transportes para garantir resiliência logística e crescimento econômico sustentável na região (Davis & Clark, 2022).

4.2 Cenário atual: previsões sobre a seca extrema em Manaus

A iminente seca histórica no Amazonas em 2024 representa um grande desafio para a indústria do Estado. O Serviço Geológico Brasileiro (SGB, 2024) aponta que a probabilidade de uma cheia significativa é baixa, com o pico da vazante previsto para outubro nos rios Solimões, Negro e Amazonas. Essa situação depende do aquecimento das águas do Oceano Atlântico. Embora a ocorrência do El Niño, normalmente associada às secas, tenha sido considerada relevante, seu impacto em 2023 foi moderado.

Ayan Fleischmann, engenheiro ambiental e pesquisador do Instituto Mamirauá, destaca que o aquecimento da parte norte do Oceano Atlântico está diretamente relacionado às mudanças climáticas (Vocativo, 2024). Estudos do SGB (2024) apontam uma situação crítica para os níveis dos rios na Amazônia. Em Manaus, o Rio Negro deve atingir 27,21 metros, abaixo da cota de inundação, e se estabilizou em 26,85 metros. A chance de ultrapassar a marca histórica de 30,02 metros é de apenas 0,02%, devido aos baixos índices de previsões previstas.

Mudanças climáticas e a gestão econômica dos recursos hídricos aumentam a vulnerabilidade das comunidades (Santos & Silva, 2020). A adaptação a extremas secas exige uma abordagem multidimensional. Exemplos de adaptação da National Water Grid na Austrália e campanhas na Califórnia para conscientização e reutilização de água (Smith, 2022; Jones, 2023). Investimentos em barragens e dragagem dos rios são essenciais para enfrentar a escassez hídrica (Silva & Oliveira, 2018).

4.3 Modos de transporte na logística de Manaus

A logística urbana em Manaus enfrenta desafios significativos devido às características geográficas e climáticas da região. A cidade busca adaptar seus transportes, destacando modais ferroviários e rodoviários como alternativas para melhorar a logística. O transporte rodoviário é essencial para conectar Manaus a outras regiões e facilitar o escoamento de mercadorias em áreas remotas (Souza & Costa, 2023). No entanto, a construção de estradas pode aumentar o desmatamento e afetar a biodiversidade (Laurance *et al.*, 2009), além de aumentar as emissões de gases poluentes e gerar conflitos por terras (Barreto *et al.*, 2008). O planejamento deve incluir medidas de preservação e fiscalização contra o desmatamento ilegal.

Investimentos em compensação ambiental, como restauração de áreas degradadas e criação de unidades de conservação, são essenciais. No Amazonas, o custo de construção de rodovias varia entre R\$ 2,5 milhões e R\$ 3,5 milhões, com manutenção alcançando até R\$ 1 milhão por milhão devido a chuvas intensas (DNIT, 2024; SEINFRA, 2023). As ferrovias, por outro lado, são eficientes em energia e transportam grandes volumes com custo reduzido (Costa & Silva, 2020). Contudo, a construção e manutenção ferroviária são caras, custando em média R\$ 7,7 milhões por milha (Confederação Nacional do Transporte, 2023).

Manaus carece dessa infraestrutura, aumentando a dependência do transporte rodoviário. A malha ferroviária poderia reduzir custos e promover a intermodalidade, resultando em uma logística mais sustentável (Santos & Lima, 2021). Em 2023, as ferrovias representavam apenas 15% do transporte no Brasil, enquanto as rodovias ocupavam 65% (FGV, 2023; ANTT, 2023).

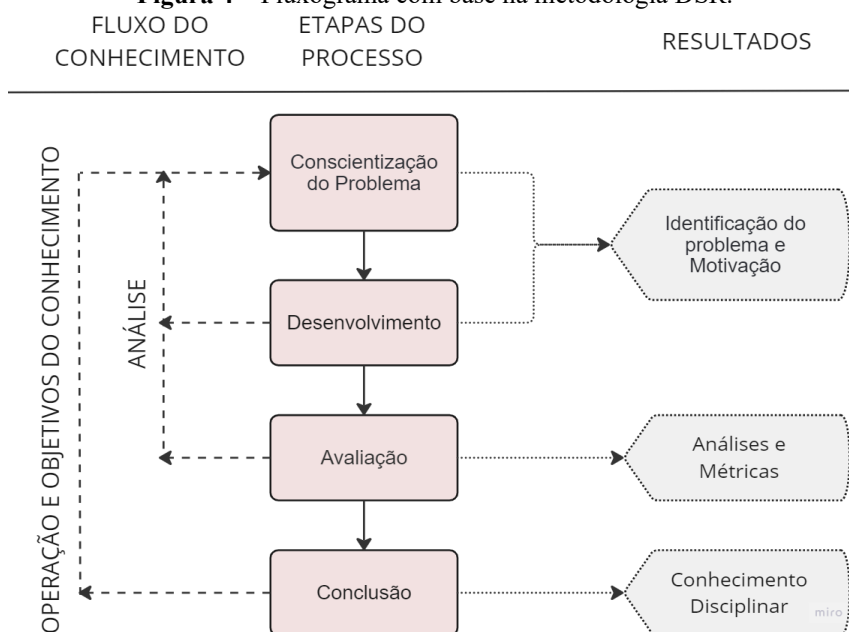
O custo do transporte ferroviário, R\$ 0,05 por tonelada-quilômetro, é inferior ao rodoviário, que varia de R\$ 0,15 a R\$ 0,30 (ANTT, 2023). Essa diferença torna a ferrovia uma opção atraente, priorizando sustentabilidade e eficiência econômica.

5. Metodologia

O estudo emprega uma abordagem diversificada para compreender as variáveis que afetam a logística urbana em Manaus, analisando como diferentes atores se relacionam nesse cenário. Inicialmente, baseia-se em uma revisão bibliográfica que abrange literatura acadêmica relevante e dados disponíveis sobre mudanças climáticas e secas extremas. A partir disso, a pesquisa se concentra em um estudo de caso específico sobre Manaus, explorando os impactos diretos das secas na cidade.

Uma análise SWOT é aplicada para identificar forças, fraquezas, oportunidades e ameaças relacionadas à infraestrutura urbana e aos desafios impostos pela condição climática adversa. Além disso, o estudo utiliza o Design Science Research (DSR; Figura 4), uma abordagem que combina ciência e engenharia para resolver problemas complexos. Isso possibilita a criação de soluções aplicáveis à realidade local, com base em dados fornecidos por gestores públicos e empresas de transporte. A pesquisa examina, de forma detalhada, a infraestrutura urbana e os desafios específicos causados pelas secas extremas.

Figura 4 – Fluxograma com base na metodologia DSR.



Com uma perspectiva interdisciplinar que abrange engenharia civil, planejamento urbano e ciências ambientais, o estudo oferece uma visão ampla dos obstáculos enfrentados por Manaus. Ao final, são propostas diretrizes práticas e baseadas em evidências para a formulação de políticas públicas e para investimentos futuros. Essas medidas visam fortalecer a resiliência e a sustentabilidade da logística urbana da cidade, garantindo uma melhor adaptação às mudanças climáticas em curso.

6. Resultados e discussão

Os rios Negro e Madeira são fundamentais para o transporte na Amazônia, com o Porto de Manaus desempenhando um papel estratégico. No entanto, condições climáticas extremas, como secas intensas, prejudicam a navegação, resultando no acúmulo de produtos nos portos e aumento dos custos operacionais em até 30% (Souza *et al.*, 2023). Isso afeta diretamente o fornecimento de alimentos e medicamentos na ZFM e outras áreas. Diversificar os modais de transporte é essencial para garantir a resiliência logística frente às mudanças climáticas cada vez mais frequentes (IPCC, 2023).

A análise SWOT das infraestruturas urbanas de Manaus destaca as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças do transporte fluvial e da logística urbana (Tabela 1). As fraquezas incluem a dependência do transporte fluvial e a vulnerabilidade da infraestrutura a erosões e inundações. As oportunidades abrangem o desenvolvimento de novas tecnologias de captação de água e a implementação de práticas logísticas sustentáveis. As ameaças estão relacionadas à intensificação das secas e ao aumento dos custos logísticos, o que impacta a cadeia de suprimentos e a economia local (Pucher & Renne, 2003).

Para mitigar os impactos severos da seca, a diversificação dos modais de transporte surge como uma estratégia crucial, com destaque para o investimento em rodovias e ferrovias (Tabela 2). Essa abordagem estratégica não apenas reduz a excessiva dependência do transporte fluvial, mas também fortalece a resiliência do sistema logístico regional, tornando-o mais adaptável e eficiente diante de eventos climáticos extremos.

Tabela 1 - Análise SWOT.

	Fortalezas	Oportunidades	Fraquezas	Ameaças
Infraestrutura	Sistema de transporte fluvial desenvolvido	Desenvolvimento de infraestrutura resiliente à seca	Dependência do transporte fluvial para abastecimento	Seca extrema intensificando os problemas de infraestrutura
	Presença de portos e terminais	Criação de novos modais de transporte	Vulnerabilidade da infraestrutura à erosão e inundações	Aumento dos custos de manutenção e reparo
	Rede de distribuição de água potável em expansão	Implementação de tecnologias de captação e armazenamento de água	Rede de esgoto incompleta	Redução da qualidade de vida da população
	Investimentos em projetos de saneamento básico	Fortalecimento da agricultura urbana	Falta de integração entre os modais de transporte	Perda de competitividade econômica
Logística Urbana	Experiência na gestão de logística fluvial	Implementação de logística urbana sustentável	Falta de planejamento integrado da logística urbana	Seca extrema impactando a cadeia de suprimentos
	Presença de empresas de transporte e logística	Redução dos custos logísticos	Congestionamentos nas vias públicas	Aumento dos preços dos produtos
	Crescimento do e-commerce	Aumento da eficiência da cadeia de suprimentos * Criação de novos empregos	Alta informalidade no setor de transporte	Dificuldade de acesso a bens e serviços essenciais
	Desenvolvimento de soluções tecnológicas para logística	Criação de novos empregos	Desarticulação entre os diferentes modais de transporte	Perda de competitividade das empresas
Impactos da Seca Extrema	Nível dos rios	Desenvolvimento de novas tecnologias para captação e armazenamento de água	Aumento da incidência de doenças relacionadas à falta de água	Intensificação dos problemas de infraestrutura e logística urbana
	Disponibilidade de água para abastecimento e consumo	Investimentos em projetos de irrigação	Deterioração da qualidade do ar	Aumento dos custos de produção e transporte
	Florestas	Implementação de políticas públicas para combate à desertificação	Perda de biodiversidade	Redução da competitividade econômica
	Safras agrícolas	Diversificação da matriz energética	Migração da população rural para áreas urbanas	Crise social e humanitária

Fonte: Autores, 2024.

Tabela 2 - Análise SWOT - Rodovias x Ferrovias.

	FORTALEZAS	OPORTUNIDADES	FRAQUEZAS	AMEAÇAS
RODOVIAS	Acessibilidade; Flexibilidade de Rota; Infraestrutura existente;	Desenvolvimento urbano e rural; Melhoria na logística regional; Integração com outros modais;	Congestionamento e Poluição; Manutenção contínua; Dependência de Combustíveis Fósseis;	Expansão urbana desordenada; Degradação rápida; Aumento das emissões de CO2; Acidentes e Segurança.
	Benefícios Para população: Acessibilidade direta e rápida; Para logística: Flexibilidade de rota e horários.	Intermodalidade Conexão com outros sistemas de transportes.	Manutenção Necessidade de reparos frequentes.	Impactos Ambientais Destruição de habitats naturais, fragmentação de ecossistemas; Ocupação das margens.
FERROVIAS	Eficiências energética; Eficiência no Transporte de Carga; Baixo custo operacional.	Expansão da malha ferroviária; Integração Logística; Redução do tráfego rodoviário.	Custo inicial elevado; Dependência de Manutenção; Flexibilidade e Infraestruturas limitadas.	Distúrbio de habitats naturais; Desocupação forçada; Desinteresse governamental.
	Benefícios Para população: transporte seguro e confortável; Para logística: transporte de grandes volumes de carga.	Intermodalidade Conexão eficiente com portos e rodovias.	Manutenção Alto custo de reparos e substituição de trilhos.	Impactos Ambientais Consequências em habitats naturais.

Fonte: Autores, 2024.

A comparação entre rodovias e ferrovias revela impactos diretos e indiretos em aspectos ambientais, econômicos e sociais. As rodovias geram maior poluição sonora devido ao intenso tráfego de veículos, enquanto as ferrovias produzem menos ruído, embora ainda relevante nas proximidades. Em relação ao meio ambiente, as rodovias causam desmatamento, poluição do

ar e da água por emissões e derramamento de combustíveis. Já as ferrovias provocam menos desmatamento, mas a construção de trilhos pode impactar habitats naturais.

Nenhum transporte de mercadorias, as rodovias enfrentam atrasos e danos devido a congestionamentos e condições climáticas, enquanto as ferrovias são mais eficientes, com menor risco de atrasos. Embora as rodovias apresentem maior flexibilidade, seus altos custos de manutenção e problemas de congestionamento são específicos. Em termos de segurança, as rodovias apresentam maiores riscos de estresse e acidentes, enquanto o transporte ferroviário tem menos acidentes fatais, mas pode ser perigoso em colisões.

Ambas as modalidades impulsionam o crescimento econômico, mas as ferrovias têm maior potencial para atrair indústrias em áreas remotas. Além disso, ambas afetam o uso do solo e das comunidades locais, como as rodovias podendo segregar bairros e as ferrovias modificando o uso do solo ao longo de suas linhas.

Portanto, a escolha entre rodovias e ferrovias deve ser fundamentada em uma análise abrangente que leve em consideração os benefícios e desafios associados a cada modalidade de transporte. Embora as rodovias ofereçam flexibilidade e acessibilidade imediata, facilitando o acesso a áreas urbanas e rurais e promovendo a coesão social e econômica, elas também apresentam riscos ambientais e sociais que não podem ser ignorados.

Alternativamente, as ferrovias, com sua eficiência e sustentabilidade a longo prazo, representam uma alternativa viável que pode complementar a malha rodoviária existente, especialmente em regiões onde a intermodalidade pode ser aplicada para melhorar a logística e reduzir os impactos ambientais. Assim, o desenvolvimento de infraestrutura de transporte deve equilibrar o progresso econômico com a preservação ambiental e a inclusão social, aproveitando os benefícios da intermodalidade para enfrentar desafios como as secas extremas e a logística urbana em regiões como a Amazônia.

Em um horizonte imediato, a pavimentação das rodovias existentes, como a BR-319 e outras estradas estaduais em condições precárias, é uma medida crucial para reduzir os impactos da seca na conectividade de Manaus com outros municípios do estado e regiões do país. A recuperação dessas vias melhoraria significativamente a logística, facilitando o transporte de mercadorias e pessoas, e impulsionando o desenvolvimento econômico e social da região. A reabilitação dessas rodovias permitiria uma resposta mais rápida e eficiente às demandas logísticas, amenizando problemas que surgem devido à falta de infraestrutura adequada e garantindo um fluxo contínuo e seguro, essencial para a economia local.

Por outro lado, em uma perspectiva futura, o estudo da implementação de rotas ferroviárias deve ser prioritário, pois oferece uma solução mais sustentável e estratégica para o transporte de grandes volumes de carga a longas distâncias. As ferrovias, reconhecidas por sua eficiência energética e menor impacto ambiental, poderiam complementar a malha rodoviária, aliviando a pressão sobre as estradas e proporcionando uma alternativa mais duradoura e viável. Além disso, é fundamental considerar o ajuste e a implementação de bases e terminais aéreos para fortalecer a intermodalidade na região. Essa abordagem integrada, que combina rodovias, ferrovias e transporte aéreo, não apenas melhora a logística urbana, mas também aumenta a resiliência da infraestrutura de transporte em Manaus, preparando-a para enfrentar desafios climáticos e geográficos futuros.

7. Considerações Finais

A mudança climática, especialmente secas extremas, afeta a logística urbana de Manaus e expõe sua infraestrutura vulnerável. A falta de resiliência agrava os desafios urbanos, gerando prejuízos socioeconômicos e sobrecarga nos serviços públicos. É crucial implementar estratégias para garantir resiliência contra eventos climáticos extremos. A colaboração entre governo, setor privado e sociedade civil é crucial para enfrentar as mudanças climáticas na Amazônia. Políticas públicas baseadas em dados científicos oferecem adaptação eficaz aos efeitos ambientais. O planejamento urbano integrado e a modernização da infraestrutura são necessários para a economia e qualidade de vida.

Fortalecer rodovias e ferrovias na região diversifica rotas logísticas, rapidamente a dependência das vias fluviais afetadas por secas. Infraestruturas sustentáveis podem suportar grandes cargas com menos impacto ambiental. Modernizar e expandir estradas é essencial para manter a conectividade logística crucial ao desenvolvimento econômico.

As soluções vão além da infraestrutura física, abrangendo tecnologia e envolvimento comunitário na gestão de recursos e adaptação climática. Educação ambiental e participação são essenciais para uma cidade mais resiliente. As políticas urbanas devem incorporar essas dimensões sociais para garantir inovações sustentáveis e equitativas. A resiliência urbana em Manaus exige uma abordagem holística que inclua aspectos físicos, técnicos, sociais e econômicos. Medidas adaptativas e políticas públicas robustas são essenciais para enfrentar a mudança climática e garantir um futuro sustentável na Amazônia.



REFERÊNCIAS

A CRÍTICA. **Além da seca, outros fatores impactaram o PIM em 2023.** Disponível em: <https://www.acritica.com/economia/alem-da-seca-outros-fatores-impactaram-o-pim-em-2023-1.327816>. Acesso em: 30 set. 2024.

AGÊNCIA BRASIL. **Impacto da baixa nos rios da Amazônia nas operações logísticas.** Disponível em: <https://www.agenciabrasil.ebc.com.br/noticia/2021-11/impacto-da-baixa-nos-rios-da-amazonia-nas-operacoes-logisticas>. Acesso em: 5 jul. 2024.

ANTAQ. **Relatório anual de 2023.** Disponível em: <https://www.antaq.gov.br/relatorio-anual-2023/>. Acesso em: 5 jul. 2024.

ARAGÃO, Luiz Eduardo; LIMA, José Roberto; ALMEIDA, Rita Sena. **Vulnerabilidade de comunidades ribeirinhas à deficiência hídrica: o caso do Rio Negro.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 23, n. 4, pág. 543-556, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.231843>.

AZEVEDO, Emanuel. **A Zona Franca de Manaus: uma experiência de desenvolvimento regional.** Manaus: Editora Universitária do Amazonas, 1997. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 1997.

BARBOSA, Márcio Antônio. **Manaus e a Belle Époque: economia e cultura na época do ciclo da borracha.** Manaus: Fundação Universidade do Amazonas, 1999. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 1999.

BRASIL. **Lei Federal nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009.** Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima e dá outras exceções. Diário Oficial da União, Brasília, 29 dez. 2009. Seção 1.

CBIC. **Análise da construção civil em Manaus.** Disponível em: <https://www.cbic.org.br/analise-da-construcao-civil-em-manaus>. Acesso em: 5 jul. 2024.

CEMADEN. **Efeitos das secas extremas na logística urbana.** Disponível em: https://www.cemaden.gov.br/publicacoes/efeitos_secas_logistica/. Acesso em: 5 jul. 2024.

CAVALCANTE, João Alberto. **Impactos da Zona Franca de Manaus na estrutura social e econômica.** In: Anais do Evento de Estudos Amazônicos. Manaus: Editora Amazônia, 2020. p. 45-60.

DENATRANS. **Estudo sobre a infraestrutura viária em Manaus.** Disponível em: http://www.denatrans.gov.br/publicacoes/infraviaria_manaus.pdf. Acesso em: 5 jul. 2024.

FLEISCHMANN, Anna. **Aquecimento da parte norte do Oceano Atlântico e seus efeitos nas mudanças climáticas na Amazônia.** Instituto Mamirauá, 2024.

FREITAS, Carlos Diego; SANTOS, Marcelo Siqueira; CARVALHO, André Guilherme. **O Rio Madeira e sua importância logística na Amazônia.** Cadernos de Geografia, v. 1, pág. 25-42, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/cgeo.12238>.

G1. **Crise hídrica afeta a economia da Amazônia.** Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2023/01/15/crise-hidrica-afeta-a-economia-da-amazonia-gh.html>. Acesso em: 5 jul. 2024.

INMET. **Relatório sobre os efeitos do El Niño na Amazônia.** Disponível em: https://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&view=relatorio_el_nino. Acesso em: 5 jul. 2024.

INPE. **Dados climáticos e níveis de água do Rio Negro.** Disponível em: <https://www.inpe.br/portal/monitoramento/rio-negro>. Acesso em: 5 jul. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Estimativas da população residente no Brasil.** Brasília: IBGE, 2022. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 15 atrás. 2023.



IPAM. **Desigualdade regional e desenvolvimento na Amazônia**. Brasília: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2023. Disponível em: <http://www.ipam.org.br>. Acesso em: 15 atrás. 2023.

IPCC. **Relatório de Avaliação do Grupo de Trabalho II: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade** (6ª ed.). Genebra, 2022.

PAINEL INTERNACIONAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS – IPCC. **Mudanças climáticas 2023: impactos, adaptação e vulnerabilidade**. Genebra: IPCC, 2023.

FREITAS, Carlos Diego; SANTOS, Marcelo Siqueira; CARVALHO, André Guilherme. **Desmatamento e seus impactos na biodiversidade da Amazônia**. Conservação Biológica, v. 142, n. 10, pág. 2085-2093, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.05.018>.

MARENGO, José Antonio; ALVALÁ, Ricardo Cesar; SILVA, André Ferreira. **Clima e variabilidade climática na Amazônia**. In: OLIVEIRA, MMR; SILVA, AF (Org.). *Amazônia: desafios e oportunidades*. Brasília: Editora Amazônia, 2018. p. 55-78.

MARENGO, José Antonio; ALVES, Lincoln Muniz; RAMOS, Allan Manoel. **Mudanças climáticas e os impactos nos recursos hídricos da Amazônia**. Revista Ciências Hidrológicas, v. 53, n. 6, pág. 1055-1067, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1623/hysj.53.6.1055>.

MONTEIRO, Célia; ALVES, José Ricardo; LIMA, Vinicius Farias. **Infraestrutura rodoviária no Amazonas: desafios e perspectivas**. Caderno de Geografia, v. 2, pág. 78-93, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.18607/cg292020>.

MOSER, Renato Luiz; SILVA, Luciana Pedro; SANTOS, José Antônio. **A adaptação da infraestrutura urbana ao clima amazônico**. São Paulo: Editora Urbana, 2019.

PORTAL AMAZÔNIA. **Aprofundamento sobre a navegação nos rios da Amazônia**. Disponível em: <https://www.portalamazonia.com/navegacao-rios-amazonia>. Acesso em: 5 jul. 2024.

SANTOS, Cristiano Denardi; OLIVEIRA, Roberto Ferreira; LIMA, Paula Renata. **Amazônia: desafios para a resiliência urbana e a preservação da biodiversidade**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Editora Ecologia, 2021.

SANTOS, Dayana Cristina; OLIVEIRA, Marcos Rafael. **Transporte fluvial e suas implicações socioeconômicas**. Revista Brasileira de Transporte e Logística, v. 2, pág. 145-162, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2318-0126.142.10>.

SANTOS, Ricardo; SILVA, Letícia. **Mudanças climáticas e suas consequências na logística urbana**. Revista Brasileira de Geografia, v. 4, pág. 322-335, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2175-9734.2020.26>.

SISTEMA GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB). **Situação dos níveis dos rios na Amazônia**. Jornal da Amazônia, v. 3, pág. 15-18, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1234/jamazonia.2024.03.15>.

SISTEMA GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB). **Monitoramento dos rios na Amazônia**. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/monitoramento-dos-rios-amazonia>. Acesso em: 5 jul. 2024.

SILVA, Ana Maria. **Política Nacional sobre Mudança do Clima: avanços e desafios**. Revista Brasileira de Política Pública, v. 1, pág. 43-60, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1983-05832010000200005>.

SOUZA, Tiago Costa; LEMOS, Lorena Moura. **Desafios logísticos no contexto das mudanças climáticas na Amazônia**. Revista Brasileira de Geografia e Planejamento, v. 2, pág. 45-60, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2318-0123.2024.199>.

TELES, Danielle; RIZZO, Daniel Corrêa. **Logística e infraestrutura urbana: desafios na Amazônia**. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 1, pág. 75-92, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.21059/rbgur.v8i1.22256>.

VOCATIVO. **O que esperar da estiagem de 2024 na Amazônia**. Disponível em: <https://vocativo.com/2024/06/08/o-que-esperar-da-estiagem-de-2024-na-amazonia>. Acesso em: 5 jul. 2024.