



Natália Moraes Silva

**Vulnerabilidade do sistema de transporte à mudança
climática: Uma análise a partir dos planos de mobilidade urbana**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura pelo Programa de Pós-graduação em Arquitetura, do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da PUC-Rio.

Orientadora: Profa. Maria Fernanda Campos Lemos

Rio de Janeiro
Abril de 2022



Natália Moraes Silva

**Vulnerabilidade do sistema de transporte à mudança
climática: Uma análise a partir dos planos de mobilidade urbana**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo:.

Prof^a. Maria Fernanda Campos Lemos

Orientadora

Departamento de Arquitetura e Urbanismo –PUC-Rio

Prof^a. Maíra Machado Martins

Departamento de Arquitetura e Urbanismo –PUC-Rio

Prof. Ricardo Esteves

Departamento de Arquitetura e Urbanismo –PUC-Rio

Rio de Janeiro, 27 de abril de 2022

Todos os direitos reservados. A reprodução, total ou parcial, do trabalho é proibida sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

Natália Moraes Silva

Graduou-se em arquitetura e urbanismo pela universidade estadual do Maranhão em 2014. Tem experiência na área de arquitetura e urbanismo com ênfase na área de arquitetura.

Ficha Catalográfica

Silva, Natália Moraes

Vulnerabilidade do sistema de transporte à mudança climática: uma análise a partir dos planos de mobilidade urbana / Natália Moraes Silva; orientadora: Maria Fernanda Campos Lemos. – 2022.

94 f.: il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)—Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, 2022.

Inclui bibliografia

1. Arquitetura e Urbanismo – Teses. 2. Mudança climática. 3. Mobilidade urbana. 4. Vulnerabilidade. 5. Plano de mobilidade e adaptação. I. Lemos, Maria Fernanda Campos. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

CDD: 720

Agradecimentos

Aos meus pais, por sempre apoiarem e incentivarem meus estudos.

À minha irmã por sempre está presente mesmo distante.

Ao meu noivo e futuro marido por todo apoio, paciência e compreensão pelos momentos de ausência.

A todos os amigos e familiares que de alguma forma me estimularam ou me ajudaram.

À PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Agradeço à minha orientadora que apesar de pouco tempo, encontrou um espaço para nortear a minha pesquisa.

Aos professores que participaram da Comissão examinadora.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

Resumo

Silva, Natália Moraes; Lemos, Maria Fernanda Rodrigues Campos. **Vulnerabilidade do sistema de transporte à mudança climática: Uma análise a partir dos planos de mobilidade urbana**. Rio de Janeiro, 2022. 94p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Embora frequentemente se afirme que o sistema de transporte é um setor social, economicamente importante e particularmente vulnerável às mudanças climáticas, ainda há poucas pesquisas sobre sua adaptação. Assim, o objeto de estudo deste trabalho é a vulnerabilidade e a adaptabilidade do sistema de transporte urbano frente à mudança climática. O objetivo é identificar o nível de contribuição atual e potencial dos Planos de Mobilidade Urbana, para a redução da vulnerabilidade do sistema de transporte, frente à mudança climática. O estudo parte da análise dos planos de mobilidade das cidades de Belém, São Luís e Manaus. Para isso, a metodologia segue as orientações de uma pesquisa de caráter qualitativo, ancorando-se no levantamento bibliográfico, bem como na análise de documentos e notícias jornalísticas, analisados a partir da técnica de análise de conteúdo. Em síntese, pode-se destacar que nas cidades analisadas, a Mudança climática ainda não é percebida como um problema de relevância local. Ainda que esteja presentes nas diretrizes dos planos de mobilidade ações para a mitigação, esta não é específica para a mudança climática, sendo somente uma medida padrão para a redução da poluição nas cidades. Quando trata-se da adaptação do sistema de transporte para a redução da vulnerabilidade sócio climática, as políticas públicas praticamente não direcionam ações específicas.

Palavras chave:

Mudança climática; mobilidade urbana; vulnerabilidade; plano de mobilidade; adaptação.

Abstract

Silva, Natália Moraes; Lemos, Maria Fernanda Rodrigues Campos (Advisor). **Vulnerability of the transport system to climate change: An Analysis from urban mobility plans.** Rio de Janeiro, 2022. 94p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Although it is often stated that the transportation system is a socially, economically important sector that is particularly vulnerable to climate change, there is still little research on its adaptation. Thus, the object of study of this paper is the vulnerability and adaptability of the urban transport system to climate change. The objective is to identify the level of current and potential contribution of Urban Mobility Plans to reduce the vulnerability of the transport system to climate change.

The study starts by analyzing the mobility plans of the cities of Belém, São Luís and Manaus. For this, the methodology follows the guidelines of a qualitative research, anchored in the bibliographical survey, as well as in the analysis of documents and journalistic news, analyzed using the content analysis technique. In summary, it can be highlighted that in the cities analyzed, climate change is not yet perceived as a problem of local relevance. Even though actions for mitigation are present in the guidelines of mobility plans, these are not specific to climate change, being only a standard measure for reducing pollution in cities. And when it comes to adapting the transportation system to reduce socio-climatic vulnerability, public policies hardly direct specific actions.

Keywords

Climate change; urban mobility; vulnerability; mobility plan; adaptation;

Sumário

Lista de figuras e tabelas	8
Lista de siglas	9
1. Introdução	10
2. Cidades e a mudança climática.....	16
2.1. Panorama global da Mudança climática	16
2.2. Brasil e as Mudança climática	21
2.3. Mobilidade, transporte urbano e a Mudança Climática.....	26
3. Adaptação urbana e mobilidade	35
3.1. Ameaças e riscos na construção da cidade resiliente.....	35
3.2. Categorias de adaptação	39
3.3. Estratégias de adaptação para sistemas de transporte	48
4. Planejamento urbano para mobilidade no contexto da mudança climática	59
4.1. O atual modelo de mobilidade urbana	59
4.2. Planejamento urbano para a mobilidade no Brasil.....	62
5. Metodologia.....	65
5.1. Seleção dos planos.....	65
5.2. Critérios de análise	66
6. Planos analisados	69
6.1. Belém.....	70
6.2. Manaus	74
6.3. São Luís	78
7. Resultados	81
8. Considerações finais.....	85
9. Referências bibliográficas	88

Lista de figuras

Figura 1: Distribuição desigual do ônus da mudança climática	19
Figura 2: Ondas de calor no Brasil em médio prazo	24
Figura 3: Ondas de calor no Brasil em longo prazo	25
Figura 4: Estrutura de risco climático	31
Figura 5: Estratégias de adaptação	43
Figura 6: Estrutura de adaptação para o setor de transporte	48
Figura 7: Adaptação para reduzir impactos e consequências	52
Figura 8: Fatores para sustentabilidade ambiental	59
Figura 9: Taxa de Crescimento atual e projetado na aquisição de veículos	60
Figura 10: Projeção de alagamento em Belém em 2050	71
Figura 11: Aglomerados subnormais no Brasil	74
Figura 12: Projeção de alagamento em São Luís	78
Figura 13: Ameaças nas cidades analisadas	80

Lista de tabelas

Tabela 1: Os impactos das mudanças climáticas em áreas urbanas	20
Tabela 2: Resumo das categorias de adaptação	47
Tabela 3: Categorias de análise	67
Tabela 4: Panorama dos PMU das capitais	68
Tabela 5: Categorias de adaptação de Belém	73
Tabela 6: Categorias de adaptação de Manaus	76
Tabela 7: Categorias de adaptação São Luís	79

Lista de siglas

CAPES- Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
GEE – Gases de Efeito Estufa
IPCC - Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
ITDP - Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IVMU- Índice de Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas
ONU Habitat - Programa das Nações Unidas para Assentamentos Humanos
ONU – Organização das Nações Unidas
ODS-Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMS- Organização mundial da Saúde.
PBMC – Painel Brasileiro para a Mudança Climática
PNMU- Política Nacional de Mobilidade Urbana
PMN- Plano de Mobilidade Urbana
PIB- Produto Interno Bruto
TIC - Tecnologias de Informação e Comunicação
UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
UNDRR – Escritório da ONU para Redução de Risco de Desastres
UNFCCC - Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do clima
WMO- Organização Meteorológica Mundial

1.

Introdução

A concentração populacional em áreas urbanas, especialmente em países em desenvolvimento, contribui com para ampliação de diversos problemas socioambientais existentes. Alguns eventos climáticos são agravados nas cidades devido a certos aspectos inerentes ao desenvolvimento urbano, como o padrão de implantação de infraestruturas que interfere no escoamento natural das chuvas, o que aumenta o risco de inundações. Em cidades costeiras a esse risco soma-se ainda a ameaça de elevação do nível do mar e a ocorrência de tempestades, que podem gerar impactos sobre os habitantes, as infraestruturas e os ecossistemas (IPCC, 2014; McGranahan et al., 2007).

Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas-IPCC é irrefutável que a influência humana seja a causa do aquecimento global observado desde a segunda metade do século XIX. As previsões indicam ainda que o aumento da temperatura nos continentes será maior que a média do aquecimento global, ou seja, enquanto nosso planeta está cerca de 1°C mais quente, nos continentes onde se concentra as cidades, o aumento já atingiu de 1,4°C a 1,5°C (IPCC, 2014). Esse aquecimento torna os eventos climáticos extremos mais frequentes, com impactos em todas as regiões do planeta.

Entretanto, a mudança climática exerce pressão adicional sobre os ambientes urbanos, sobretudo devido à intensa urbanização e o crescimento populacional, principalmente nas faixas mais pobres nos países em desenvolvimento. No Brasil, menos de 1% do território é considerado urbano, essas regiões concentram mais de 80% da população nacional (Farias et al, 2017). Esse quadro agrava-se com o aumento populacional esperado, sobretudo nas cidades costeiras, que devem encarar desafios adicionais devido a sua localização e densidade (McGranahan et al., 2007). Esse crescimento será mais evidente em países em desenvolvimento, como o Brasil, de infraestrutura precária e baixa capacidade de absorver quaisquer acréscimos sem impactos socioambientais. À medida que a densidade urbana aumenta, ampliam-se também as taxas de serviços e atividades, com consumo proporcional de energia e consequente aumento de emissões. Essas são influenciadas por diversos fatores, como as formas urbanas adotadas no desenvolvimento da cidade, o padrão de circulação da população e de

bens pelo território, o uso e ocupação do solo, as características construtivas e materiais utilizados e a renda da população. Historicamente, as emissões são maiores nos países desenvolvidos, entretanto como mostrará a figura 1 (pag. 19), esses países devem sentir menos os impactos da mudança climática, uma vez que investem mais para adaptar suas cidades. As estratégias de adaptação e mitigação exigem abordagens multisetoriais que considere as características locais relevantes de cada cidade. (World Bank, 2011).

Na maioria das cidades, a mudança climática deverá gerar impactos principalmente em quatro setores: o sistema energético; água e tratamento de esgoto; transporte e saúde pública (Hammer et al., 2011). A infraestrutura de transporte é um dos principais sistemas urbanos responsável por proporcionar o acesso da população a serviços básicos como educação, saúde e trabalho, além de ser fundamental em situações de emergência. Os impactos da mudança climática podem afetar uma série de serviços e funções urbanas se estes não estiverem preparados (Mehrotra, et al., 2011). De modo que as cidades precisam de mudanças significativas no planejamento para adaptar os sistemas urbanos às condições futuras e ampliar sua resiliência frente às ameaças climáticas.

Dentre essas, os alagamentos são os eventos com maior potencial de impacto para o sistema de transporte. As suas ocorrências podem causar interrupções, redução de desempenho, podem interferir direta ou indiretamente no padrão de deslocamento da população e na distribuição de insumos e serviços nas cidades. (ITDP, 2015). Questões sociais como a falta de acesso aos serviços urbanos, principalmente das famílias mais pobres e a dificuldade de proporcionar meios de evacuação, deixam evidentes como os impactos causados pelas inundações na mobilidade urbana, ainda que indiretos, afetam as cidades e as populações. O objeto de estudo deste trabalho é a vulnerabilidade e a adaptabilidade do sistema de transporte urbano frente à mudança climática. Assim, esta dissertação pretende contribuir para a ampliação da discussão a cerca das soluções de adaptação para reduzir a vulnerabilidade do sistema de transporte.

O relatório desenvolvido por Urda Eichhorst (2009) é um das principais contribuições para o desenvolvimento deste trabalho. Este fornece uma abordagem detalhada de como integrar adaptação e mudança climática no planejamento do transporte urbano. O relatório desenvolve uma abordagem que identifica as principais etapas para uma estratégia de adaptação integrada para o

desenvolvimento do transporte urbano, fundamentais para o desenvolvimento da metodologia que será explicada adiante. Outra autora importante para o desenvolvimento do trabalho é a Camila Madeiros (2019), que trabalha com o assunto relacionado ao objeto de estudo desta dissertação. A autora faz uma sistematização das soluções de adaptação para o sistema de transporte mais utilizadas por megacidades que sofrem com o problema de alagamentos.

Outro estudo de grande relevância para este trabalho foi a pesquisa desenvolvida Klaus Eisenack, Rebecca Stecker, Diana Reckien e Esther Hoffmann (2012) que fazem uma sistematização das soluções de adaptação à mudança climática para o setor dos transportes. Os autores apresentam uma revisão sistemática das adaptações sugeridas na literatura, localizaram 63 fontes com um total de 245 tipos de adaptações que mostraram uma grande diversidade de atores interdependentes relevantes para a adaptação.

Os relatórios do IPCC também foram fundamentais para a identificação das ameaças e riscos climáticos, e das vulnerabilidades socioambientais dos centros urbanos, assim como a definição das categorias de adaptação, e os riscos e ameaças para o sistema de transporte, com consequentes impactos. O Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento - ITDP elabora análises de vulnerabilidade sociais sobre as mudanças climáticas para a realidade brasileira nos municípios, e fornece um panorama geral dos efeitos da mudança climática nas infraestruturas e possíveis efeitos sobre a população.

Para trabalhar com o tema da mobilidade utiliza-se como referência teórica o trabalho de Kneib (2012), que trata principalmente da necessidade de quebra do paradigma, cercado pela cultura, acerca da valorização da propriedade do automóvel e da organização do território de forma articulada com os demais sistemas para minimizar a necessidade dos deslocamentos e potencializar o aproveitamento dos sistemas de transporte e das redes existentes para facilitar o acesso da população ao transporte. O trabalho de Vaccari e Fanini (2016) aborda as questões relacionadas à mobilidade urbana, ressaltam que a mobilidade urbana vai além de questões de deslocamentos, pois é necessário entender os fatores socioeconômicos, intelectuais e de limitações físicas que o indivíduo estará sujeito para a utilização de veículos e equipamentos de transportes.

A infraestrutura e as operações de transporte são fortemente sensíveis à variabilidade climática. Entretanto, a maioria das pesquisas sinaliza apenas as

contribuições do setor para emissões de gases GEE, deixando uma lacuna quanto à vulnerabilidade dos sistemas de transporte com relação às ameaças climáticas (Ribeiro e Santos, 2015). Desse modo, percebe-se a importância de trabalhar com o tema da adaptabilidade e vulnerabilidade do sistema de transporte. Uma vez que todos os cenários de previsões climáticas indicam que as temperaturas vão continuar a subir pelo menos até metade do século, mesmo limitando-se as emissões dos gases GEE (IPCC, 2021). Contribuindo para a formação dos eventos extremos que afetam tanto a população quanto o sistema de transporte. Comprometendo principalmente o deslocamento dos mais pobres que dependem do transporte público. Nesse sentido, é necessário diminuir a suscetibilidade e a incapacidade dos sistemas para lidar com os efeitos adversos da mudança climática, em termos de aumento da variabilidade e eventos climáticos extremos. Uma vez que a mudança climática é um processo irreversível, apresentando ameaças à manutenção das atividades urbanas e à própria manutenção da vida urbana (Wang et al. 2020; ITDP, 2015).

De acordo com o Quarto Relatório de Avaliação do IPCC (2007), adaptação às mudanças climáticas é “um ajuste nos sistemas naturais ou humanos em respostas a estímulos climáticos reais ou esperados e seus efeitos, que modera os danos ou explora oportunidades benéficas”. Portanto, a adaptação busca reduzir os efeitos danosos da mudança climática, além de explorar co-benefícios para o desenvolvimento sustentável. A mitigação atua sobre as causas da mudança climática, ou seja, sobre as emissões de gases GEE. Assim, esta refere-se à redução das emissões de gases de efeito estufa para evitar ou reduzir a incidência da mudança do clima. (Wang et al. 2020).

Para trabalhar com esse tema, neste trabalho será considerado os planos de mobilidade de três cidades brasileiras, para avaliar o nível de contribuição desses planos para a adaptação do sistema de transporte dessas cidades, a saber: Manaus-AM, São Luís-MA e Belém-PA. A escolha dessas cidades surgiu do interesse em se trabalhar com as regiões Norte e Nordeste do Brasil, uma vez que essas são as regiões com os maiores índices de vulnerabilidade social do país.

O objetivo principal é identificar o nível de contribuição atual e potencial dos planos de mobilidade para a redução da vulnerabilidade do sistema de transporte, frente à mudança climática. A partir da análise comparativa daquelas três cidades, recorte que será explicado no capítulo metodológico. Tendo em vista

esse objetivo, pretende-se criar um documento de referencia para auxílio ao poder público na escolha de soluções de adaptação para a resiliência da mobilidade urbana, no contexto da mudança climática.

Como objetivos específicos pretende-se identificar os possíveis impactos da mudança climática para a mobilidade urbana; Especificar a susceptibilidade dos sistemas de transportes aos eventos climáticos extremos; definir as ações de adaptação para os sistemas de transporte e caracterizar o potencial transformador dos planos de mobilidade para o planejamento urbano no Brasil.

Para o desenvolvimento e alcance do objetivo proposto, a metodologia deste trabalho segue as orientações de uma pesquisa com abordagem de natureza qualitativa. Inicialmente, realizou-se uma revisão da literatura sobre mudanças climáticas, adaptação de cidades e mobilidade urbana, em plataformas como o Portal de Periódicos CAPES e Google Scholar. Essa pesquisa busca subsidiar a revisão e atualização da literatura que compõe a discussão sobre ameaças, vulnerabilidades, impactos e adaptação à mudança climática em cidades, especificamente para o planejamento da mobilidade urbana.

Simultaneamente procedeu-se a pesquisa documental, método que utiliza a análise de documentos para a compreensão de um conjunto de dados (Sá-Silva et al, 2009). Para tanto, utiliza-se informações das plataformas oficiais online dos Poderes Executivos e Legislativos das cidades em estudo. Além de informações disponibilizadas em plataformas de notícias jornalísticas, fontes importantes para acompanhar a elaboração e implementação de estratégias realizadas pelos governos locais. A intenção dessa pesquisa era obter dados suficientes acerca dos planos e a situação atual da mobilidade dessas cidades.

Os dados coletados com o levantamento bibliográfico e a pesquisa documental foram analisados a partir da técnica de análise de conteúdo (Bardin, 2011), método amplamente aceito para validação em pesquisas qualitativas (Mozzato e Grzybovski, 2011). A partir da análise de conteúdo, se define as categorias de análise, com as quais se elaborou uma matriz que permita fazer associações com os conceitos definidos no processo de revisão da literatura, esta será detalhada no capítulo metodológico.

Cabe destacar ainda que esta pesquisa se desenvolveu durante a pandemia 2020-2021, emergência sanitária global com diversos impactos sociais, econômicos, culturais e políticos. Está interferiu nas atividades cotidianas da

universidade, as aulas foram transferidas para o ambiente virtual, e toda a pesquisa se desenvolveu nesse ambiente. Com a recomendação do distanciamento social determinado pelas autoridades sanitárias, não foi possível pesquisa de campo, e optou-se por pesquisa documental para a análise dos planos de mobilidade.

No segundo capítulo “Cidades e a mudança climática” apresentam-se os efeitos da mudança climática nos sistemas urbanos em um panorama global, com os possíveis impactos com enfoque nos alagamentos, relacionando os riscos e as vulnerabilidades referentes a esse fato. Relacionam-se também os possíveis efeitos da mudança climática no Brasil, e como está pode impactar especialmente o setor dos transportes e a mobilidade como um todo.

O terceiro capítulo discute os conceitos de risco, ameaça, vulnerabilidade e resiliência, como o objetivo final para quaisquer sistemas urbanos. Após essa discussão, o capítulo apresenta as principais categorias de adaptação de cidades utilizadas na literatura. Neste realiza-se uma relação destas com as possibilidades de adaptação para os sistemas de transporte, com apresentação dos riscos e vulnerabilidades específicas para o setor.

Após se fazer a apresentação sobre o contexto da mudança climática e seus impactos para a cidade, e especificamente para a mobilidade, com apresentação das categorias de adaptação para cidades e para o setor de transportes, se faz necessário entender como a mobilidade hoje é planejada. Assim, primeiramente tem-se a explanação sobre o atual modelo de mobilidade adotado na maioria das cidades e os impactos que esse modelo traz para a eficiência da mobilidade urbana. Em seguida é discutido especificamente sobre as políticas urbanas no Brasil para a mobilidade, sobre a Lei de mobilidade sustentável e os mecanismos institucionais de planejamento desse setor.

No quinto capítulo é apresentada a metodologia detalhada, com a definição dos critérios de escolha para os planos de mobilidade citados, assim como a definição das categorias de análise. Também se apresenta a matriz de análise desenvolvida a partir dessas categorias. No sexto capítulo, são apresentadas as cidades que terão seus planos analisados pela matriz. Com a apresentação de suas diretrizes que serão objeto das análises tendo seus resultados apresentados no capítulo seguinte. Assim, o sétimo capítulo traz os resultados dessa análise.

2.

Cidades e a mudança climática

2.1.

Panorama global da Mudança climática

Segundo o IPCC (2021), a mudança climática causada pelas atividades antrópicas são irrefutáveis, irreversíveis e levaram a um aumento de 1,07° na temperatura média do planeta, aponta o último relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, organização científico-política criada em 1988 no âmbito das Nações Unidas, maior autoridade mundial sobre o assunto. O termo “mudança climática” é utilizado para se referir ao conjunto de alterações nos padrões climáticos – ventos, precipitação pluviométrica, etc. - e no nível dos mares, provocados pelo aquecimento global. Essas atividades incluem o uso de combustíveis fósseis, mudança de uso do solo, como o desmatamento para a pecuária e agricultura (IPCC, 2014), ou seja, estão fortemente ligadas ao padrão de consumo da sociedade pós-industrial. Apesar de a humanidade sempre ter se adaptado às variações naturais das condições climáticas, a velocidade atual das mudanças provocadas pelo homem não tem precedentes.

A temperatura da Terra é controlada por um equilíbrio entre a entrada de energia da radiação solar e seu reflexo de volta ao espaço. O desequilíbrio desse processo natural impede a reflexão da radiação solar, causando o aquecimento do planeta (Eichhorst, 2009). Quanto maior a concentração de gases de efeito estufa - GEE, mais radiação é capturada, e mais as temperaturas globais aumentam. Como consequência, a atmosfera terrestre desestabiliza-se o que leva a ocorrência de eventos climáticos extremos. No Brasil, os efeitos dessas mudanças já podem ser evidenciados pelo aumento em 270% de desastres naturais entre 2001 e 2010 em relação à década anterior, assim como nas projeções de aumento dos dias com temperaturas acima de 30°C (ITDP, 2019). No ano de 2021, vários países registraram eventos climáticos atípicos como a onda de frio registrada em parte do sul do Brasil, com recorde de temperaturas negativas, geada e neve. No Canadá, na cidade de Lytton, a temperatura chegou a 49° graus neste ano, maior que o recorde histórico brasileiro de 44° graus, o que provocou mais de 500 mortes súbitas devido ao calor extremo. Na Alemanha, chuvas intensas provocaram o

maior desastre natural desde 1962, deixando mais de 100 mortos e milhares de desabrigados (Dantas, 2021).

Segundo os especialistas, eventos desse tipo aconteciam em um intervalo de tempo muito maior do que o observado atualmente. Desse modo, se pressupõe que o número de desastres naturais em áreas urbanas tenha aumentado quatro vezes nas últimas três décadas, causando perdas sociais, econômicas e humanas (UNDRR, 2014). Apesar de inúmeras incertezas acerca da intensidade e frequência que os eventos climáticos afetarão as regiões do planeta, é evidente que a mudança climática torna os sistemas urbanos mais vulneráveis aos fenômenos decorrentes de seus efeitos, sobretudo se medidas de enfrentamento não forem implementadas.

Ao mesmo tempo, as atividades urbanas têm uma contribuição significativa para a elevação das temperaturas globais, elas emitem cerca 75% de todo o dióxido de carbono em atividades como transporte, construção, indústria e energia (Bai et al, 2018). Nesse processo de mudança climática, as cidades, compreendidas aqui como um “sistema complexo de múltiplas interdependências entre forma (ambiente natural e construído), atividades e fluxos” (Lemos, 2010, p. 114), desempenham um importante papel, tanto pelo fato de sentirem os efeitos dessas alterações no clima, quanto por contribuírem para a intensificação desse processo.

Importante lembrar a relevância política das cidades no cenário global, cada vez mais reconhecida e explorada. São apontadas por diversas organizações como fundamentais no processo de adaptação para a mudança climática, enquanto atores importantes na governança climática global (Espíndola; Ribeiro, 2020). As cidades são reconhecidas tanto nas avaliações do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) quanto em acordos globais, como o Acordo de Paris, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e a Nova Agenda Urbana do Habitat III (2016):

[...] as cidades foram reconhecidas como impulsionadoras de ações transformadoras, especialmente em termos de sua capacidade de enfrentar os desafios setoriais, demográficos, espaciais e ecológicos das mudanças climáticas e riscos extremos de desastres. [...] todas essas estruturas globais observam a centralidade das comunidades urbanas e dos tomadores de decisão na resposta às mudanças climáticas. (Hughes, Chu e Mason, 2018, p. 2, apud Espíndola; Ribeiro, 2020).

Os exemplos são desde a disseminação de métodos de participação popular, com novos arranjos para o fortalecimento de comunidades, (como os comitês locais sobre mudança climática), abordagens de governança multinível¹, até desenvolvimento de redes de colaboração intermunicipais e transnacionais como C40 (Cities Climate Leadership Group) e o ICLEI (Governos Locais pela Sustentabilidade), essas ações demonstram como as cidades tornaram-se atores relevantes nas questões de mudanças climáticas. (Espíndola e Ribeiro, 2020). Assim, são fundamentais para a implementação e articulação de políticas públicas e ações de mitigação e adaptação para mudança climática. Estas representam oportunidades de mudança e evolução nas respostas aos desafios impostos pelas mudanças climáticas. Essa resposta varia de acordo com as capacidades adaptativas e o contexto socioeconômico local (Eichhorst, 2009).

Apesar de todas as regiões do planeta sentirem os efeitos da mudança climática, os países em desenvolvimento são particularmente afetados, ainda que historicamente tenham contribuído menos para a mudança climática. Como mostra a abaixo, figura 1, os países mais pobres contribuíram pouco para as emissões de gases de efeito estufa, mas são os mais vulneráveis aos impactos na saúde. A parte de cima mostra os países que mais emitiram gases do efeito estufa até 2002; a parte inferior mostra os países em escala pelas estimativas regionais da OMS de mortalidade per capita por mudanças climáticas em 2000 (Patz et al., 2007).

¹Em essência, a governança multinível pode ser considerada como “o compartilhamento de poder e gestão que se materializa em espaços de negociação fluídos e flexíveis entre os níveis governamentais e os demais atores sociais para condução de interesses coletivos” (Henrichs; Meza, 2017, pág. 125). O que pressupõe um equilíbrio dinâmico entre a autonomia e a regulação de múltiplos atores para a distribuição de poder, riscos, recompensas e responsabilidades, fundamentais para as ações de combate a mudança climática e seus efeitos.

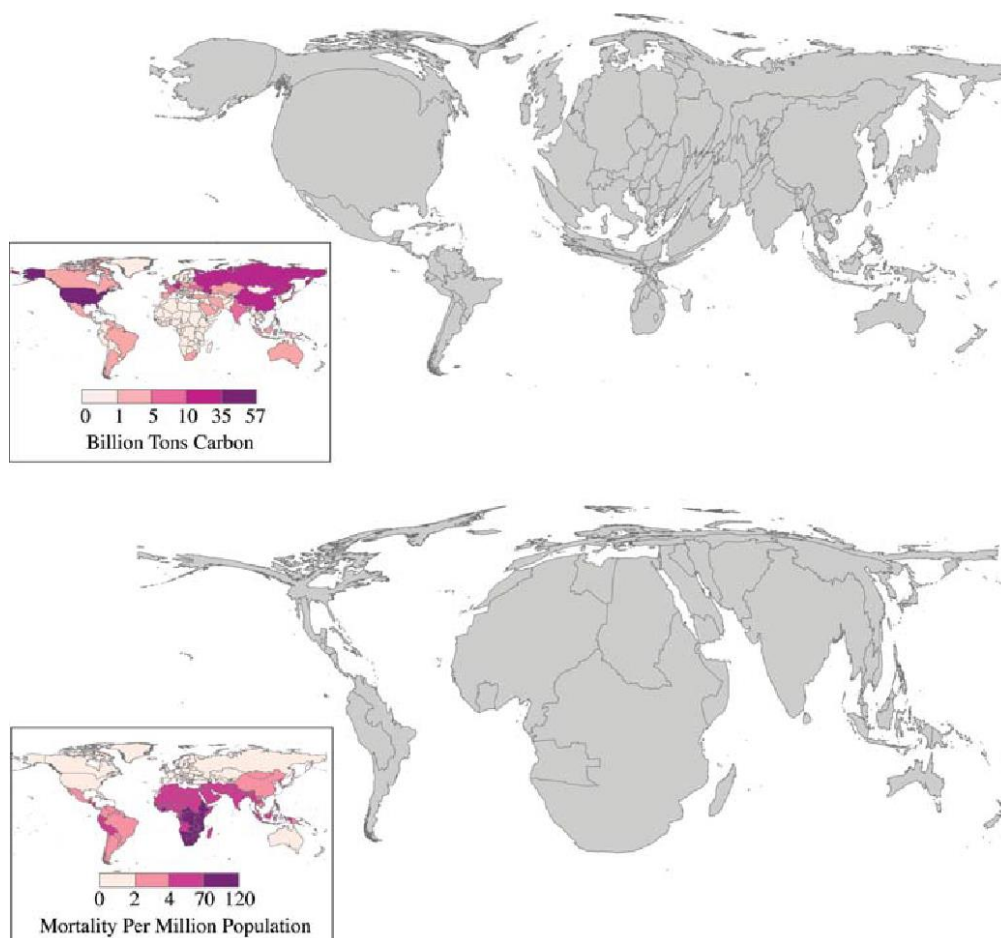


Figura 1: Distribuição desigual do ônus da mudança climática

Fonte: Patz et al., 2007.

Esse quadro pode agravar-se com a tendência de crescimento da densidade urbana e consequente aumento da exposição das populações aos fenômenos decorrentes da mudança climática. Atualmente 55% da população mundial habitam áreas urbanas, e a expectativa é de que esta proporção aumente para 68% até 2050 segundo a ONU (2019). Atualmente são 33 centros urbanos com populações de mais de 10 milhões de pessoas. Projeta-se que esse número aumente para 43 até 2030, esse crescimento deve acontecer principalmente em países em desenvolvimento. Para Braga (2012), a concentração populacional em centros urbanos é um dos fatores que contribui para a ocupação de áreas ambientalmente frágeis, o que amplia o risco de desastres, e a vulnerabilidade das populações residentes nesses locais. Lemos (2010) argumenta que diante dessa perspectiva de concentração populacional, deve-se adotar um modelo de planejamento urbano sustentável, que amplie a resiliência urbana, mas sem causar danos ao meio ambiente, e sem contribuir para o processo de mudança climática.

Dentre as consequências associadas às mudanças climáticas em cidades, a tabela 1 demonstra alguns dos possíveis impactos em áreas urbanas.

Mudança climática	Impactos em áreas urbanas
Mudanças nas médias	
Temperatura	Demanda energética crescente (aquecedor/ar-condicionado); deterioração da qualidade do ar; ilhas de calor urbano.
Precipitação	Risco crescente de enchentes; risco crescente de deslizamentos de encostas; migrações das zonas rurais; interrupção das redes de abastecimento de produtos alimentares.
Elevação do nível do mar	Inundações costeiras; redução de renda oriunda de agricultura e turismo; salinização das fontes de água.
Mudanças nos extremos	
Chuvas Extremas/ciclones	Inundações mais frequentes; maior risco de deslizamentos de encostas; danos em casas, fábricas e infraestruturas urbanas
Secas	Escassez de água; maior preço dos alimentos; perturbações no sistema hidroelétrico; migrações das zonas rurais
Ondas de calor/frio	Maior demanda energética no curto prazo (aquecedor/ar-condicionado)
Mudança abrupta do clima extrema do	possíveis impactos de uma elevação mar e extremo de temperaturas
Mudanças na exposição	
Movimentos populacionais	Migrações de habitats rurais afetados
Mudanças biológicas	Aumento de vetores de doenças

Tabela 1: Os impactos das mudanças climáticas em áreas urbanas

Fonte: Martins e Ferreira, 2011

Considerando os desafios impostos pela mudança climática nas cidades, Sathler, Paiva e Baptista (2019, p. 264) afirmam que o cenário envolverá uma “ampliação dos riscos urbanos, sobretudo em áreas de maior vulnerabilidade e carentes de infraestrutura”. Dentre os diversos problemas associados, o aumento de frequência de inundações e tempestades pode ser um dos mais desafiadores para as cidades, devido ao grande potencial de desastre e colapso de todos os sistemas urbanos, com perdas materiais e de vidas humanas. Diante desses desafios, Lemos (2010), argumenta que as cidades precisam incorporar em seus planos e agendas, medidas para o enfrentamento desses fenômenos climáticos

previstos. Para tanto, os autores lembram que as cidades precisam de avaliações regulares sobre as mudanças climáticas, principalmente sobre a vulnerabilidade social a esses fenômenos, assim as avaliações de vulnerabilidade e risco são fundamentais no processo de adaptação para mudança climática.

Uma cidade preparada para enfrentar esses fenômenos, precisa ser adaptada para reduzir a vulnerabilidade de sua população às ameaças climáticas, sem ampliar o processo de aquecimento global. Esse argumento é defendido por Lemos (2010), para a autora, no planejamento urbano para a mudança climática, deve-se priorizar ações de adaptação, entretanto sem negligenciar as ações que contribuem para redução dos processos geradores das ameaças climáticas.

2.2.

Brasil e a Mudança Climática

Apesar de o Brasil não estar no grupo de países ou regiões mais vulneráveis às mudanças climáticas – como a maioria dos países africanos e do sul da Ásia, além dos países insulares que correm risco de desaparecer devido à elevação do nível do mar – este não é indiferente aos impactos da mudança climática, como discutido anteriormente. Muito pelo contrário, a economia brasileira tem forte dependência de recursos naturais renováveis e mais de 50% do PIB estão associados a esses. Além desses fatores, os extremos climáticos acentuam a vulnerabilidade social dos mais carentes, e no Brasil mais de 50% da população pode ser considerada pobre, características que demonstram a grande dificuldade estrutural da população de fazer frente à mudança climática e aumentar sua capacidade adaptativa (Nobre, 2008). Assim é imprescindível estudos para identificar as vulnerabilidades do país e elaborar políticas para a sua redução, além de aumentar a capacidade adaptativa da população.

No Brasil as alterações mais significantes são o aumento da temperatura com maior variabilidade nas precipitações, assim como alterações nos padrões de distribuição de extremos climáticos, como secas, inundações tempestades severas, geadas, entre outros. Esses extremos sofrem influência dos fenômenos El Niño (fenômeno de aquecimento) e La Niña (fenômeno de resfriamento), e o aquecimento global serve de combustível na intensificação de seus efeitos (Nobre, 2001 apud Binati, 2017).

No Brasil, os cenários climáticos são estabelecidos a partir dos modelos climáticos definidos pelo IPCC que abordam os diferentes níveis de emissões de gases GEE. Esses modelos são sistemas computacionais que processam dados meteorológicos e outras informações para apontar tendências do clima. O IPCC utiliza vários deles para simular a mudança climática e suas consequências em todo o globo. Entretanto, esses modelos utilizados internacionalmente não mostram a realidade do território brasileiro em detalhe. Mas a partir desses, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE e o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas - PBMC têm feito projeções climáticas específicas para o Brasil. Em síntese, essas análises têm mostrado um aumento da temperatura média ao longo do século em todo o país. As áreas que sentirão os primeiros efeitos são as regiões Centro-Oeste e Sudeste, nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. As regiões Norte e Nordeste também sentirão os efeitos dessas mudanças, durante esses meses de inverno. Até o final do século XXI, as máximas de aquecimento médio podem ficar entre 1,5° C e 6° C (PBMC, 2014). Destaca-se também a tendência de ampliação da amplitude de temperaturas entre máximos e mínimos dentro de um único ano e a elevação do nível do mar. Em algumas regiões, essa elevação pode alcançar de 20 a 30 cm de aumento até meados do século XXI.

A fim de se obter dados mais detalhado, o ITDP e o INPE produziram uma análise mais específica para o Brasil, utilizando dois modelos climáticos globais regionalizados: HadGEM2-ES e MIROC5, para dois horizontes: de curto-médio prazo entre 2026-2055 e de médio-longo prazo entre 2056-2085, considerando dois cenários baseados em diferentes graus de concentração de GEE, maior e menor. A partir desse trabalho, foram analisadas as tendências em relação aos seguintes fenômenos climáticos: a frequência de dias muito quentes; ocorrência de períodos de altas temperaturas; frequência de chuvas extremas e mudanças no padrão de intensidade com que as chuvas atingem os vários pontos do território brasileiro. A análise ocorreu para 283 municípios brasileiros com mais de 100 mil habitantes, onde vivem 56% da população do país. Esse trabalho foi sintetizado através da criação de quatro índices de extremos climáticos:

1- Altas temperaturas (SU30): Indica o número de dias com temperaturas acima de 30° Celsius, limite acima do qual as estruturas de mobilidade começam a sofrer degradação mais intensa e os usuários sentem mais desconforto em suas viagens.

2 - Ondas de calor (WSDI – Warm Spell Duration Indicator): Indica as áreas mais propensas a sofrer com ondas de calor – períodos de temperatura muito elevada, que se estendem por vários dias. Os parâmetros são baseados nas médias locais, ou seja, uma onda de calor no Sul tem temperatura menor do que no Nordeste.

3 - Chuvas intensas (R30): Indica as regiões que poderão ter aumento da frequência de chuvas moderadas e fortes, ou seja, acima de 30mm/dia.

4 - Aumento de intensidade das chuvas (SDII - Simple Daily Intensity Index): Um complemento ao diagnóstico do índice R30, ele sinaliza as regiões com prognósticos de aumento da intensidade das chuvas.

O primeiro indicador avalia o aumento da temperatura média, a partir do número de dias por ano com temperaturas acima de 30° Celsius. Esta temperatura representa o limite acima do qual as estruturas de mobilidade começam a sofrer intensa degradação e os usuários passam por maior desconforto durante suas viagens. Os dados sinalizam o aumento da frequência de dias quentes, o país poderá ter suas temperaturas médias significativamente aumentadas em longo prazo. Para o cenário de maiores emissões, a projeção indica que 88% dos municípios podem ter mais 50 dias de calor e para 147 municípios, o aumento pode ser superior a 100 dias por ano em médio prazo. Para longo prazo, quase todos os municípios avaliados têm mais de 50 dias de calor. Em 207 municípios (73%), o aumento no número de dias quentes pode chegar a mais de 150 dias, o equivalente a cinco meses.

O segundo índice, demonstra como o Brasil será afetado por pelo aumento significativo das ondas de calor, com exceção do Sul, todas as demais regiões do país deverão sofrer aumentos significativos na frequência de ondas de calor, ou seja, a ocorrência de temperaturas altas por mais de seis dias seguidos, conforme indica a análise dos modelos climáticos. Mesmo no curto prazo, a mudança já aparece nitidamente nos cálculos dos WSDI. Considerando cenários de longo prazo (2056 – 2085), com o aumento da presença dos gases do efeito estufa na atmosfera o WSDI, aumenta significativamente. Mostra uma situação dramática com um grande aumento do número de dias de temperatura elevada, que afetará a maioria das grandes cidades do país. As ondas de calor superariam os 150 dias em 88% dos maiores municípios. Grande parte do Centro Oeste – incluindo Goiânia e

Brasília – e do Norte sofreria com mais de 301 dias de calor. Metrôpoles como Recife e João Pessoa também estariam entre as mais atingidas.

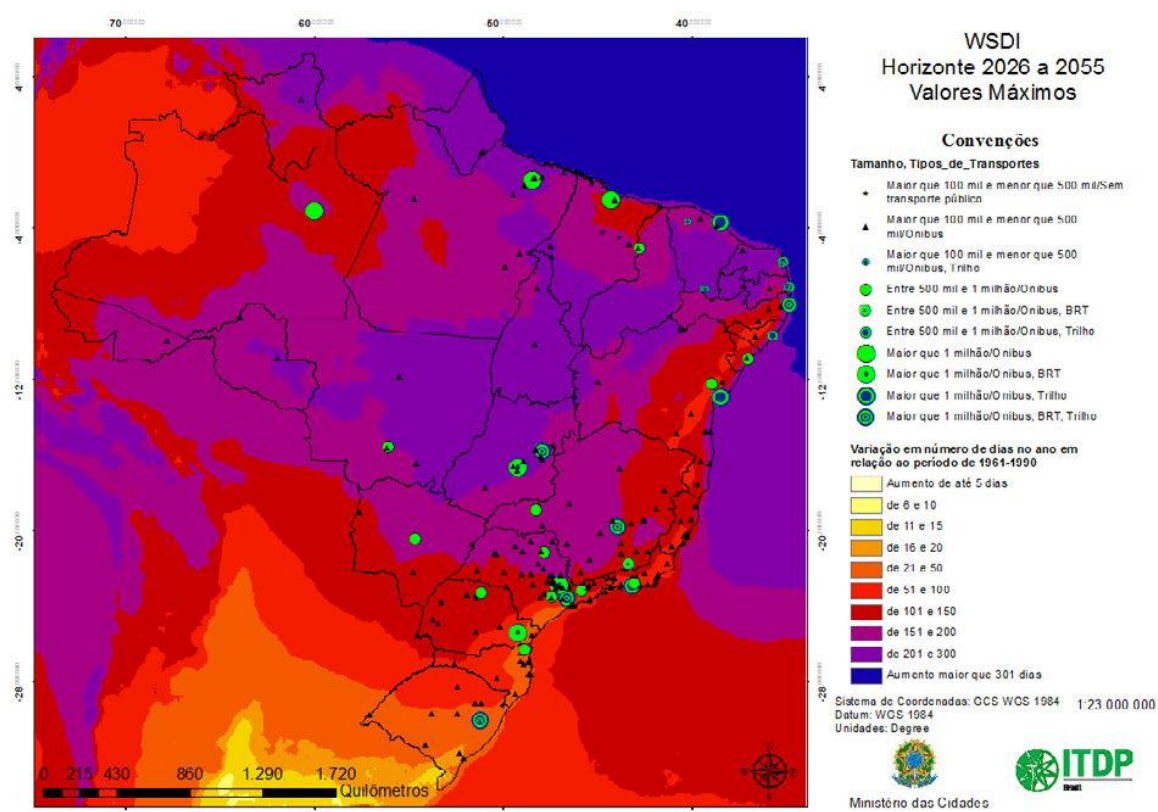


Figura 2: Ondas de calor no Brasil em médio prazo.

Fonte: ITDP, 2017

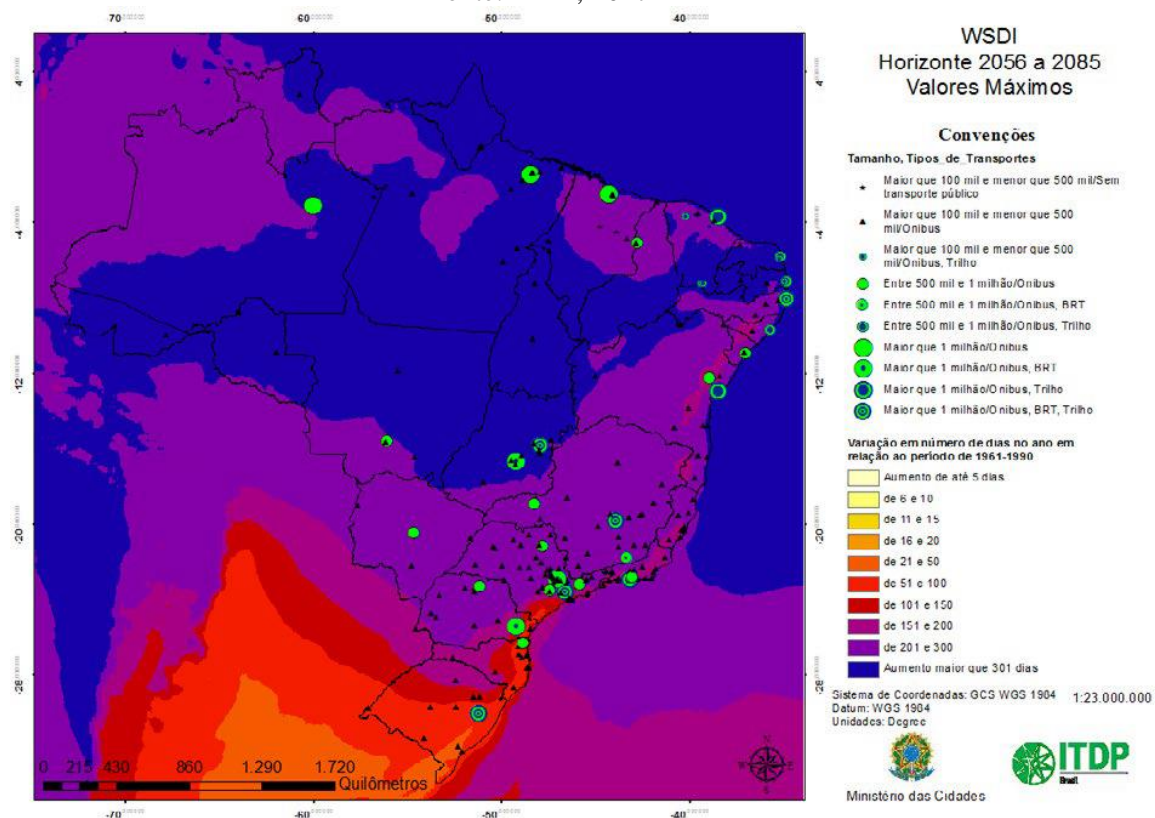


Figura 3: Ondas de calor no Brasil em longo prazo

Fonte: ITDP, 2017

Com relação ao terceiro índice a análise produzida através dos modelos não é conclusiva. Os modelos apontam resultados divergentes de acordo com os parâmetros de emissões de poluentes utilizados – mais altos ou mais baixos. Considerando os parâmetros máximos de emissões utilizados pelo Inpe, dos 283 municípios analisados, 135 têm probabilidades de enfrentar um aumento nos dias de chuvas acima de 30 milímetros em médio prazo (2026- 2055). O cálculo do indicador R30, que projeta o número de dias do ano de temporais, prevê que 105 municípios teriam mais dois ou três dias de chuva intensa, em comparação com a média histórica, e que 30 seriam encharcados por mais 4 a 9 dias de temporal. A maioria desses municípios fica na Região Sul, e alguns estão no Sudeste. Se forem considerados os padrões mínimos de emissões dos modelos, somente 30 municípios teriam mais dias de chuva acima dos 30mm/dia. Em compensação, 143 cidades nas regiões Norte, Centro-Oeste e Sudeste, teriam uma redução dos dias de chuva intensa.

Em longo prazo, de 2056 a 2085, permanece a mesma tendência dos resultados apontarem direções opostas tendo em vista os parâmetros de emissões dos modelos. Se considerados os parâmetros máximos, 176 cidades teriam mais dias de temporal. Na faixa dos valores mínimos, os dias de tormenta ocorrem em 159 cidades brasileiras. Cabe ressaltar ainda que os padrões de precipitação são influenciados também pelo processo de urbanização e desenvolvimento das cidades. Assim, cidades muito urbanizadas e com poucas áreas verdes ajudam a criar condições para formar tempestades de curta duração e alta intensidade.

O quarto indicador, o índice SDII, é um complemento ao indicador R30, é calculado dividindo o total da precipitação anual pelo número de dias úmidos. Em médio prazo, os modelos sugerem poucas mudanças no regime de chuvas do Brasil, já que os aumentos registrados na maior parte do território nacional são reduzidos. As exceções são a Região Sul e trechos do Norte, que tendem a ficarem mais úmidas, e áreas de Goiás e Minas Gerais, que terão uma discreta redução nas precipitações. Das capitais, as mais afetadas são Porto Alegre, que poderá ter um aumento de 15% no volume de chuvas, e Curitiba, com 10% de variação em relação às médias registradas entre 1961 e 1990. Para longo prazo (2056-2085), a tendência se mantém e é intensificada. Para os valores máximos de emissões do

modelo, o interior da Região Sul se destaca, com a intensificação das chuvas chegando a pelo menos 2 mm/dia, o que pode significar um aumento de 14% a 20% da intensidade das precipitações em relação à média histórica. As regiões do Espírito Santo, Goiás e Pará teriam importante redução na intensidade de chuvas. Percebe-se que devido às dimensões geográficas o país apresenta grandes diferenças nas previsões climáticas. Assim, o conhecimento dessas previsões regionalizadas torna-se fundamental para que a adaptação das cidades brasileiras possa ser eficiente em atender as especificidades locais.

Os possíveis impactos da mudança climática devem ocorrer em diferentes escalas, de acordo com a vulnerabilidade e as características específicas de cada região do Brasil. Junto com a mudança dos padrões pluviométricos anuais, ou mesmo onde não houver alteração, deverá ocorrer intensificação dos eventos extremos. (INPE, 2011; PBMC, 2013b).

O impacto desses eventos têm fortes implicações para a saúde humana e os meios de subsistência, especialmente para a população urbana mais pobre, assentamentos irregulares e outros grupos vulneráveis. (PBMC, 2013b). Por isso, combater a desigualdade social e a exclusão socioambiental é a primeira medida para evitar a perda de vidas humanas decorrentes do aumento desses eventos nas cidades brasileiras. Assim, a adaptação para mudanças climáticas deve envolver além da melhoria das infraestruturas para garantir a proteção da população, a capacitação das pessoas em todos os níveis, para que possam atuar diante das situações de perigo que deverão ocorrer com maior frequência nas cidades brasileiras.

2.3.

Mobilidade, transporte urbano e a Mudança Climática.

Os eventos climáticos extremos têm grande potencial de causar desastres nas cidades, com impactos que podem interferir diretamente na mobilidade urbana como um todo, à medida que geram impactos indiretos. Estes com desdobramentos que podem abranger desde a mudança no comportamento dos usuários e operadores a aspectos da qualidade de vida e economia das cidades (ITDP, 2017). Quando os sistemas de mobilidade não estão preparados para esses eventos, a maioria da população sofre graves perdas materiais e imateriais. Assim, esses perigos climáticos podem afetar os sistemas de transportes de diferentes

formas, especialmente a mobilidade daqueles que vivem nas periferias mais pobres. Esses são profundamente impactados durante e após eventos extremos, com prejuízos ao sistema de transporte público, dificultando o acesso ao trabalho, e a eficiência de manobras de evacuação (ITDP, 2017; Eichhorns, 2009).

Com base em uma ampla literatura, o estudo técnico do ITDP (2017), aponta os principais perigos climáticos que podem afetar a infraestrutura e o desempenho operacional dos sistemas de transporte urbanos, que estão relacionados às precipitações, à temperatura e à elevação do nível do mar. O primeiro está relacionado ao aumento da frequência e intensidade de precipitações extremas que possam causar alagamentos, inundações, enxurradas ou vendavais; o segundo está relacionado à maior ocorrência de dias com altas temperaturas, que contribuem para a deterioração das infraestruturas; e a última são perigos causados pela elevação do nível do mar (de ordem meteorológica – transitória – e do nível médio – persistente) que afetariam diretamente ou indiretamente as infraestruturas de uma cidade, incluindo os transportes urbanos, que estão em regiões de litorâneas de baixada ou de várzea.

A intensidade dos impactos depende de características físicas e de ocupação da área exposta, uma vez que estes influenciam nos parâmetros dos alagamentos, como velocidade do escoamento, tempo de permanência, frequência e altura do espelho d'água, por exemplo. Além disso, o volume de precipitação capaz de interferir na infraestrutura de mobilidade varia entre as cidades, regiões, e os tipos de transporte. O potencial de colapso depende não somente do dimensionamento da infraestrutura de drenagem, mas de sua manutenção e limpeza. Nas regiões litorâneas, os alagamentos também podem sofrer influência das marés, quando na ocasião de maré alta, aquelas podem ser mais duradouras (Nobre e Young, 2011).

Não existe um limite crítico comum de volume de chuvas para as cidades a partir do qual ocorrem alagamentos de vias, o que facilitaria a identificação das situações de perigo. Na cidade do Rio de Janeiro, por exemplo, considera-se como limite para entrar em estado de alerta chuvas de 40 mm/h, entretanto esse valor está relacionado diretamente aos riscos de escorregamento e não aos riscos para a infraestrutura de mobilidade urbana. (ITDP, 2017). Já na cidade de São Paulo, Nobre e Young (2011) destacam que chuvas menores que 30mm/h, são suficientes para provocar alagamentos e transtornos ao longo da Av. Aricanduva, Zona Leste da cidade. Devido a essas particularidades locais é necessário um amplo

mapeamento das áreas críticas das cidades, para a compreensão do comportamento da macrodrenagem e identificação dos trechos e elementos dos sistemas de transporte mais expostos e sua sensibilidade às chuvas e tempestades. Quando combinada com o entendimento do padrão de deslocamento das pessoas, essa análise pode apontar as infraestruturas mais críticas para o sistema de mobilidade urbana.

Ainda que o acúmulo de água nas vias provoquem transtornos, a vulnerabilidade na mobilidade urbana dependerá da importância da via exposta. As consequências desses eventos nas rodovias com grande fluxo de transportes coletivos ou individuais são muito maiores para a população, e assim são consideradas mais vulneráveis (ITDP, 2017). No caso do transporte por trilhos, linhas construídas em áreas baixas tendem a apresentar maior frequência de alagamentos. Os corredores ferroviários e metroviários também são vulneráveis as enchentes, uma vez que seu sistema de drenagem depende do escoamento do entorno e, quando precário, faz com que os riscos de enchentes aumentem. Além dos efeitos das enchentes, as chuvas também afetam o desempenho operacional de sistemas sobre trilhos. A redução da velocidade pode chegar a 20%, em função da diminuição da aderência das rodas, após determinado volume de chuva. Resultando em ampliação do tempo de viagem, estrangulamento da rede, com sobrecarga das estações e mesmo dos outros modos de transporte (Ministério das cidades, 2017; Eichhorns, 2009).

Com relação à infraestrutura rodoviária, La Rovere e De Souza (2015) ressaltam que os ativos que as integram são projetados para perdurar por um período de tempo, variando de anos (estradas, de um modo geral) a décadas (pontes, túneis). Entretanto, geralmente estes são concebidos com base em padrões climáticos históricos, desconsiderando-se as condições de clima futuro. Este tipo de carência pode contribuir para infraestruturas mais vulneráveis e de baixa capacidade adaptativa.

Meyer (2008) desenvolveu estudo sobre padrões para projetos de infraestrutura de transporte nos Estados Unidos, neste o autor avalia soluções de engenharia para adaptação ao contexto de mudanças ambientais. Segundo autor os seguintes componentes do sistema de transporte são mais vulneráveis às mudanças climáticas e eventos climáticos extremos, consequentemente merecem atenção especial para as ações de adaptação:

- Pontes e bueiros – relação com aumento da precipitação média anual, aumento da intensidade de eventos de precipitação, aumento do nível do mar.
- Calçadas e estradas costeiras – aumento do nível do mar e aumento da frequência e intensidade de tempestades.
- Superfícies de pavimento – aumento médio da temperatura anual.
- Drenagem superficial - aumento da intensidade de eventos de precipitação.
- Estabilidade de encostas – com aumento médio da precipitação anual e aumento da intensidade de eventos de precipitação.

Com relação às pontes, estas ainda podem ser afetadas pela diminuição da precipitação, que aumenta a frequência de intrusão salina, e favorece o processo de corrosão química de pontes e estruturas de concreto. A água salina intensifica a deterioração do concreto por dissolução e/ou transformação dos seus componentes em sais solúveis, que são posteriormente transportados pelo mar. (Stewart et al, 2012).

A infraestrutura aérea da cidade também pode ser comprometida por chuva mais intensas e frequentes (postes, sinalização e arborização) cujos danos podem alcançar estações e fluxos de veículos e pedestres (Eichhous, 2009). Um dos riscos para a mobilidade urbana e segurança das pessoas é a queda de árvores sobre vias, que prejudicam também os sistemas de fornecimento de energia e telecomunicações. As tempestades prolongadas (mais que 3 dias) também representa perigo ao sistema de transportes a partir do aumento da frequência de deslizamentos de encostas e taludes ou qualquer outro movimento de massa, que pode bloquear ou afetar a segurança de ruas, avenidas e vias férreas urbanas, além de claro representarem risco de perdas de vidas humanas.

Os impactos combinados afetam todo o sistema de transporte urbano, que passa a encontrar dificuldades para manter os níveis de serviço, segurança, conforto e eficiência para os quais foi projetado, com consequente perda da competitividade, para outros modos de transporte alternativos. Para as pessoas que podem optar por outros meios de transporte, fazem uso dos modos individuais motorizados, o que reforçaria os efeitos das mudanças climáticas na medida em que aumentariam os seus níveis de emissões de GEE. Para a população de baixa renda, essa mudança para o modo individual motorizado é mais difícil de acontecer. Nesse caso, além de maiores perdas no tempo de viagem, é a parcela da população urbana que mais sofreria com possíveis aumentos das tarifas. A

ineficiência na mobilidade urbana além de aumentar as perdas econômicas reforçaria os efeitos das mudanças climáticas na medida em que aumentariam os seus níveis de emissões de GEE.

Como dito anteriormente, outro perigo climático com impactos para a mobilidade é a elevação de temperatura. Essa pode ter efeitos diretos e indiretos para a infraestrutura de transporte, nos veículos, e nos agentes. Com possibilidade de superaquecimento dos materiais das vias, das estações, dos equipamentos e sistemas elétricos e nos veículos. Os agentes e usuários também podem ser impactados pela redução do conforto, na utilização e no acesso aos transportes públicos e nos transportes não motorizados, fator que contribui para a redução da atratividade do transporte público coletivo.

A infraestrutura de transportes, quando submetida a períodos mais longos de temperaturas extremas, pode responder com maior deterioração e deformação dos pavimentos e vias permanentes, das estruturas de pontes, materiais das estações, terminais e outras edificações auxiliares. Pesquisas indicam que as taxas de deterioração do aço estrutural no curto prazo podem aumentar na ordem de 15% se a temperatura atmosférica média aumentar 2°C (Stewart et al, 2012). O que pode elevar a frequência de paradas de manutenção e recuperação dos elementos estruturais, somada a uma possível redução da vida útil e uma maior ocorrência de falhas estruturais e operacionais em todos os modos. Com temperaturas mais elevadas, os sistemas de arrefecimento e climatização das estações e veículos serão mais solicitados, significando maior consumo de energia e combustíveis. Com a possibilidade de haver maior necessidade de manutenção e consequente elevação dos custos operacionais do transporte público e privado, além de aumentar as emissões de GEE (Ministério das cidades, 2017). Entretanto, os custos ocasionados por um sistema inadequado de transporte ultrapassam a esfera monetária, originam externalidades negativas não monetizadas conforme apontam Young et al, (2013). Estas são contabilizadas como aumento das perdas sociais, relacionadas a impactos ambientais (poluição), na saúde e econômicos, devido a perdas por redução de desempenho na mobilidade.

Para avaliar de forma abrangente o risco climático no sistema de transporte, Mehrotra et al. (2018) definiram uma estrutura que combina três vetores: perigos climáticos, vulnerabilidades e capacidade de resposta. O risco climático é acumulado nas cidades, onde há maior concentração de pessoas e bens, com a

previsão de crescimento populacional nos centros urbanos, tem-se a tendência de ampliação desse risco climático.



Figura 4: Estrutura de risco climático

Fonte: Mehrotra et al., 2018

O primeiro vetor na estrutura de risco climático urbano são os perigos climáticos, que podem afetar o sistema de transporte, inclui precipitação intensa, aumento da temperatura, elevação do nível do mar, além da ocorrência de eventos associados à proximidade com o mar, como furacões e tempestades costeiras. Tempestades com ventos de alta velocidade afetam os sistemas de transporte estático e móvel de maneira diferente. Sistemas estáticos, como estradas, pontes e redes ferroviárias podem ser inundados devido a tempestades ou criam estresse adicional na infraestrutura crítica e causam danos estruturais. Ativos móveis e veículos, como carros e ônibus ou vagões de trem, podem ser danificados devido a destroços voando. (UN-Habitat, 2013; Mehrotra et al., 2018; Eichhorns, 2009) .

O segundo vetor são vulnerabilidades internas devido às condições físicas, sociais e econômicas da cidade e seu sistema de transporte. Devido a essas características os riscos estão acumulados nas cidades, e não são iguais, varia de acordo com a vulnerabilidade social de cada grupo, e da exposição da infraestrutura. A vulnerabilidade do sistema pode ser avaliada através do tamanho e densidade da população, topografia, quantidade de pessoas carentes, da concentração econômica da cidade, além das condições dos sistemas de transporte. Ativos de transporte envelhecidos e obsoletos, como pontes, estradas e

ferrovias, tornam a infraestrutura de transporte urbano vulnerável. A ausência de sistemas de transporte urbano adequado e confiável aumentam as vulnerabilidades dos pobres durante ondas de calor ou inundações (Revi et al., 2014). A integração dos modos de transporte, dos transportes ativos, como bicicleta e mobilidade a pé, do transporte individual e coletivo garante conectividade na cidade e, o que contribui para a resiliência urbana. A combinação dessas opções de mobilidade urbana junto com as condições socioeconômicas, topográficas molda a vulnerabilidade dos sistemas de transporte urbano e de seus usuários. Uma vez que a falta de conexão entre diferentes modos no sistema de transporte pode representar uma vulnerabilidade.

O terceiro vetor é a capacidade de resposta aos perigos climáticos. Refere-se à habilidade institucional para lidar com as questões relacionadas ao transporte urbano de uma cidade e seus atores. Essa habilidade determina o nível de competência para responder aos impactos potenciais das mudanças climáticas. As variáveis que determinam a capacidade da cidade adaptar seus sistemas de transporte incluem a estrutura organizacional das instituições, a presença de programas de adaptação e mitigação e a motivação dos agentes envolvidos. Quanto maior for a capacidade (recursos, institucional, informação) e a proatividade dos atores envolvidos, maior será a capacidade de ação, menor será o impacto. Os principais atores para essa resposta incluem governos municipais, seus departamentos constituintes relacionados ao transporte urbano, o setor privado, sociedade civil, organizações não governamentais (ONGs) e acadêmicos (Mehrotra, 2009).

Em resumo, os riscos do transporte urbano são moldados pela exposição a perigos, vulnerabilidades do sistema existente e capacidade de resposta, tanto antes do evento quanto depois. Eventos extremos convertem riscos em custos para a infraestrutura de transporte urbano. Assim, o planejamento do sistema de transporte no contexto da mudança climática deve adotar o princípio da precaução. Dessa forma, deve-se adotar medidas de prevenção para prevenir, evitar e/ou minimizar os impactos decorrentes da mudança climática. Agir somente após os eventos pode elevar consideravelmente os custos para a adaptação.

Entretanto, ainda que a mudança climática estabeleça vários desafios para o sistema de transporte, o funcionamento deste diariamente já é sensível às

variações de precipitação, temperaturas e a elevação do nível do mar em cidades costeiras (Love et al. 2010 apud Revi et al. 2014). Esses eventos podem interromper os sistemas de transporte e serviços urbanos interdependentes durante condições climáticas extremas, com impactos que duram até a fase de alívio e recuperação. Assim, o diagnóstico e a construção de cenários futuros são fundamentais para a definição de prioridades no processo de planejamento para a resiliência.

Dentre os eventos com maior potencial de desastre estão os relacionados à presença da água, com capacidade de colapsar todos os sistemas urbanos e provocar grandes perdas materiais e humanas. As inundações correspondem a 44% dos desastres registrados, seguidas por tempestades tropicais (35%). As perdas humanas em decorrência desses eventos concentram-se nos países em desenvolvimento, onde estão 91% das mortes globais. O Brasil, em parte pela extensão territorial, é o líder sul-americano. Desde 1970, foram registrados 193 eventos extremos no país, uma média de quatro por ano (Paixão, 2021).

Nos últimos anos, as cidades brasileiras têm experimentado com maior frequência os casos de interrupção dos serviços de transporte devido a eventos climáticos, com inundações recorrentes e mais severas, deslizamentos de terra e ondas de calor. Tendo em vista esses perigos climáticos, e para facilitar a tomada de decisões sobre ações e políticas para a mobilidade no Brasil, o ITDP criou o Índice de Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas na Mobilidade Urbana (IVMU). O índice mostra de maneira simplificada as características dos municípios em termos da sua sensibilidade ou resistência a impactos climáticos na mobilidade urbana, e da capacidade adaptativa. No grupo sensibilidade, são consideradas dimensões sociais e econômicas, características do sistema de mobilidade, desenvolvimento urbano e a geografia e o relevo dos municípios. No grupo capacidade adaptativa, os indicadores sociais, de finanças públicas e estrutura institucional são considerados. Segundo o índice (IVMU) dos 283 municípios brasileiros com mais de 100 mil habitantes, os estados com maior proporção de municípios classificados com vulnerabilidade superior são: Rio de Janeiro, Pernambuco, Bahia, Pará, Maranhão, Amapá, Ceará e Amazonas. Já os estados de São Paulo, Rio Grande do Sul, Mato Grosso do Sul e Paraná têm os menores índices de vulnerabilidade.

3.

Adaptação urbana e mobilidade

3.1.

Ameaças e riscos na construção da cidade resiliente

Para avançar na discussão, se faz necessário o esclarecimento de alguns conceitos para que sejam assimilados no contexto de adaptação de cidades, tais como risco, vulnerabilidade e resiliência. Esses conceitos estão fortemente interligados conforme argumenta Lemos (2010). Por exemplo, a compreensão do conceito de “risco” é fundamental para o entendimento da “vulnerabilidade”, esses são conceitos fortemente relacionados.

Segundo a definição do IPCC (2014), sucintamente o risco de acontecer eventos climáticos pode ser definido como uma probabilidade de ocorrência de algum perigo ou ameaça multiplicado pelas consequências esperadas, de acordo com as vulnerabilidades existentes. Seguindo definição semelhante, Castro et al. (2005), argumenta que o risco refere-se à probabilidade de ocorrência de eventos associados à noção de incerteza, com exposição ao perigo, prejuízos e/ou perdas que afetam direta ou indiretamente a vida das pessoas. Ressaltam ainda que uma incerteza sem a presença da probabilidade não representa um risco e não necessariamente a noção de risco está associada ao perigo.

Para Lemos (2010), na diferenciação dos termos o risco pode ser considerado um componente da ameaça, enquanto o primeiro se refere a incertezas relacionadas a danos em geral, o segundo corresponde aos fenômenos naturais e os danos causados pelos mesmos. Nesse entendimento o risco pode ser representado pela fórmula: $\text{Risco} = (\text{probabilidade}) \times (\text{consequência})$, é definido como o “potencial para consequências quando algo de valor está em jogo e o resultado é incerto” (IPCC p.1048, 2014). Partindo dessa compreensão de risco, na ocorrência de eventos climáticos e desastres naturais, percebe-se o quanto as cidades estão em alto risco, devido às suas características concentradoras de pessoas e riquezas. Entretanto, como argumenta Lemos, (2010) a existência do risco não significa necessariamente possibilidade de ocorrência de um desastre, apenas quando existe a interação entre o evento climático e um sistema vulnerável que poderá acontecer algum desastre. Braga et al (apud Binati, 2017), atribui um caráter mais social ao risco, para os autores este não é unicamente resultado da

exposição a uma ameaça, mas também pode ser concebido historicamente a partir de ações e processos sociais. Mas para ambos, risco elevado não significa necessariamente a ocorrência de desastre, uma vez que esse dependerá das consequências, que dependem do nível de vulnerabilidade existente.

Outra definição relevante para a discussão refere-se à condição de incerteza, que diferentemente do risco - onde existe uma previsão de resultados - não há quaisquer previsões que possam ser descritas antecipadamente para um evento futuro (Lemos, 2010). Nesse sentido, a mudança climática é um grande exemplo da condição de incerteza, onde as previsões são imprecisas e divergentes. Organização Meteorológica Mundial – WMO, em recente alerta, adverte que o aquecimento global está entrando em "território desconhecido". Desse modo a “incerteza obriga ao dever de precaução”, para a tomada de decisões, já que a falta de parâmetros pode facilmente induzir ao erro (Lemos, 2010; Veyret; Richemond, p. 59, 2007).

O princípio da precaução representa uma resposta à incerteza e aos riscos, por meio de ações para as demandas relacionadas às questões ambientais, saúde, segurança alimentar e a segurança do trabalho. Aplica-se principalmente aos chamados “riscos relatados”, ou seja, é relacionado a situações nas quais os danos serão percebidos em longo prazo, depois de ocorrido o acidente. (Veyret; Richemond, 2007). Entende-se que é fundamental o conhecimento prévio das características do sistema sobre o qual o risco incide, para que o atributo “incerteza” possa ser devidamente incorporado nas estratégias de planejamento e gestão urbana, para permitir a identificação e redução de vulnerabilidades. Nesse contexto fica clara a importância de diagnósticos de vulnerabilidade e a construção de cenários futuros para a definição de prioridades no processo de planejamento das ações de adaptação para cidades.

Conforme dito, desastres e os riscos associados estão intrinsecamente relacionados ao contexto de vulnerabilidade. Essa expressa à suscetibilidade ou predisposição ao dano de um elemento ou grupo de elementos expostos à manifestação de uma ameaça (Rossini-Penteado e Ferreira, 2015). A avaliação da vulnerabilidade passa pela compreensão da ameaça, do contexto social e material, que revelarão a capacidade de resposta, absorção e ajustamento para o enfrentamento da ameaça. Nesse sentido, "a vulnerabilidade de qualquer sistema é reflexo (ou uma função) da exposição e sensibilidade de tal sistema a condições

perigosas e a habilidade, capacidade ou resiliência do sistema em superar, adaptar ou recuperar dos efeitos dessas condições” (Smit; Wandel, 2006, p. 286). No contexto da mudança climática, a vulnerabilidade está relacionada à suscetibilidade de sistemas aos impactos de eventos climáticos, bem como a capacidade ou não de lidar com eles.

Seguindo os parâmetros do IPCC (2014), a noção de vulnerabilidade está relacionada aos componentes: sensibilidade e capacidade adaptativa. A sensibilidade representa as características físicas responsáveis por responder aos efeitos de eventos ou fenômenos climáticos, podendo ser maior ou menor conforme as condições do sistema. Percebe-se que para avaliar a vulnerabilidade, os eventos climáticos devem ser considerados juntamente com as características do sistema, uma vez que irão influenciar diretamente no grau de vulnerabilidade do sistema, juntamente com a última componente, a capacidade adaptativa.

A capacidade adaptativa corresponde à capacidade do sistema de reduzir os efeitos negativos de algum evento climático, podendo inclusive tirar benefícios da ocorrência para aprimorar todo o sistema. Assim a capacidade adaptativa refere-se “A habilidade de sistemas, instituições, humanos e outros organismos para se ajustar ao dano potencial, para tirar proveito das oportunidades, ou para responder às consequências” (IPCC, 2014^a, p.1758). Partindo dessa perspectiva, entende-se que a capacidade adaptativa é específica ao contexto inserido conforme aponta Smit et al (2006), assim varia de país para país, de comunidade para comunidade, entre grupos sociais e indivíduos. O autor ressalta ainda que a dimensão de capacidade adaptativa não é independente ou separada do contexto, por exemplo, a capacidade de um grupo para lidar com riscos climáticos depende em parte do ambiente favorável da comunidade, que por sua vez reflete os recursos e processos da região. De modo geral, a capacidade adaptativa corresponde a todos os recursos que o sistema possui para enfrentar os eventos climáticos e seus efeitos.

Essa conceituação visa indicar como a vulnerabilidade é formada e não implica em análises quantitativas, assim não se pretende atribuir valores numéricos para a definição de tal vulnerabilidade. Além disso, destaca-se que a vulnerabilidade, e seus componentes – sensibilidade e capacidade adaptativa – estão imersos em processos dinâmicos e complexos, com elevada variabilidade em virtude das pressões climáticas exercidas sobre o sistema.

Alguns fatores são determinantes para ampliação da vulnerabilidade a eventos climáticos conforme aponta Handmer (apud Lemos, 2010) entre eles o aumento da população mundial, especialmente nas áreas mais pobres, particularmente as mais afetadas por eventos climáticos; fatores econômicos e sociais que geram mudanças bruscas, com o comprometimento da capacidade das pessoas lidarem com os fatos; desapropriação provocada por guerras e conflitos civis; crescimento da urbanização e consequente concentração de pessoas e atividades nas cidades; globalização econômica e degradação gradual do meio ambiente. Portanto, a compreensão da vulnerabilidade de um sistema é fundamental para a definição de estratégias tanto para reduzir a sensibilidade quanto para ampliar a capacidade adaptativa.

A resiliência é outro conceito imprescindível para a discussão do tema de adaptação de cidades e fortemente interrelacionados aos demais citados. É um conceito da ecologia, introduzido por Holling como “uma medida de persistência dos sistemas e sua capacidade de absorver mudanças e perturbações e ainda manter as mesmas relações entre populações e variáveis” (Holling, 1973, p. 14 apud Wang, 2015). Para o autor existem dois tipos de resiliência em ecologia: “resiliência de engenharia” e “resiliência ecológica”. A primeira baseia-se na “eficiência, constância e previsibilidade”, o núcleo desse conceito é de um projeto “aprova de falhas”. Por outro lado, a “resiliência ecológica” centra-se na “persistência, mudança e imprevisibilidade”. Essa última está relacionada à quantidade de alterações que um sistema pode suportar antes de atingir um domínio de estabilidade alternativo. Nesse aspecto, refere-se a projetos de ‘falha segura’ com uma perspectiva evolutiva. Portanto percebe-se este último conceito para resiliência como mais adequado para o contexto desta discussão, uma vez que a adaptação de cidades também está envolto a processos dinâmicos com elevada variabilidade e incertezas (Holling, 1996 apud Wang, 2015).

O IPCC (2014) trabalha com uma abordagem bem ampla do conceito de resiliência, para o painel refere-se “a capacidade dos sistemas sociais, económicos e ambientais de lidar com um evento ou tendência perigosa ou perturbação, respondendo ou reorganizando de forma a manterem a sua função, identidade e estrutura essenciais, mantendo ao mesmo tempo a capacidade de adaptação, aprendizagem, e transformação”. Para esse processo é fundamental a capacidade de auto-organização do sistema mediante um distúrbio ou pressão. Seguindo o

mesmo argumento Folke (2006) considera a resiliência como “a capacidade de um sistema de absorver distúrbios e reorganizar-se enquanto sujeito às mudanças, para manter essencialmente as mesmas funções, estruturas, identidade e feedbacks”. Além de suportar pressões, um sistema resiliente deve aproveitar as oportunidades criadas pela perturbação para recombina estruturas e processos evolutivos, a fim de se alcançar a renovação do sistema e criar novas trajetórias.

No contexto da mudança climática, a resiliência pode ser entendida como uma característica proporcionada pela capacidade adaptativa do sistema para se desenvolver continuamente e se auto-organizar após algum distúrbio. O sistema resiliente deve ser dinâmico para se adaptar conforme as incertezas decorrentes da mudança climática. Para o alcance desse estado de resiliência é fundamental o entendimento das vulnerabilidades existentes, para se definir estratégias de adaptação mais eficientes. A incorporação desses conceitos ao planejamento e gestão urbana contribui para a resiliência de cidades, uma vez que as torna mais preparadas para lidarem com os riscos e ameaças decorrentes da mudança climática

3.2.

Categorias de adaptação

Conforme discutido no tópico anterior, para que a cidade seja resiliente e tenha condições de manter suas funções essenciais frente a perigos e impactos, inevitavelmente, os sistemas urbanos devem antecipar os efeitos da mudança climática e planejar as adaptações necessárias para garantir a resiliência dos sistemas. O termo adaptação utilizado no contexto da mudança climática, surgiu nas ciências naturais particularmente na biologia evolutiva, com desenvolvimento de características comportamentais que permitem aos organismos ou sistemas superarem mudanças ambientais e se desenvolverem (Smit; Wandel, 2006).

Nesse sentido a adaptação à mudança climática pode ser definida como “processo através do qual são estabelecidas práticas e as instituições são reformuladas quando confrontadas pelos impactos das mudanças climáticas” (Pelling, 2010, p. 34 apud Pereira, 2015). Sendo assim, a adaptação refere-se à adequação no comportamento e características a fim de melhorar as habilidades do sistema de superar uma pressão externa. No 5º relatório do IPCC (2014) a definição do termo tem uma abordagem abrangente:

“O processo de adaptação ao clima real ou esperado e seus efeitos. Em sistemas humanos, a adaptação procura evitar ou moderar danos, ou explorar oportunidades benéficas. Em alguns sistemas naturais, a intervenção humana pode facilitar a adaptação ao clima esperado e seus efeitos”. (IPCC, 2014, p. 1758).

Assim, a adaptação pode ser entendida como um conjunto de ações sobre os sistemas físico-territoriais, sociais e econômicos, que atua na redução da vulnerabilidade local que visa estabelecer um estado de resiliência. Essas ações de adaptação estão diretamente relacionadas ao grau de vulnerabilidade de um sistema, podendo ser de diversos tipos e escalas, e devem atuar diretamente sobre as componentes da vulnerabilidade - sensibilidade e capacidade adaptativa. Portanto é indispensável o diagnóstico de vulnerabilidade para que a adaptação seja coerente ao contexto específico. Essa relação entre vulnerabilidade e adaptação tem crescido desde o segundo relatório do IPCC, onde “o sistema mais vulnerável é aquele com grande sensibilidade à mudança climática e com menor adaptação” (Smit et al, 2000). **Portanto, a necessidade de adaptação surge quando os riscos ou os impactos percebidos da mudança climática exigem iniciativas para garantir a segurança das populações e dos ativos, incluindo os ecossistemas e seus serviços.**

A adaptação pode assumir diferentes formas, conforme destacam Smit e Pilifosova (2003) os autores fazem uma extensa e detalhada classificação dos tipos de adaptação. As opções podem se diferenciar por atuar sobre sistemas naturais ou humanos, por ter abordagem autônoma ou planejada, ser de iniciativa pública ou privada, ser feita antes ou depois de impactos, ter alcance local ou ampliado, ter função de proteger, acomodar ou escapar/recuar de impactos, entre outros.

A partir de uma revisão de literatura de Smit et al (2000), e apoiados por trabalhos subsequente, Biagini et. al. (2014) identificam que as principais tipologias de atividades de adaptação geralmente se concentram em uma das cinco áreas: tempo relativo ao estímulo (antecipatório, concorrente, reativo), intenção (autônomo, planejado), escopo espacial (local, regional, nacional), forma (tecnológica, comportamental, financeira, institucional) e grau de mudança necessária (incremental, transformacional) (Carter et al., 1994; Fidelman et al., 2013; Huq et al., 2003; Smit e Skinner, 2002; Smit e Wandel, 2006; Wilbanks e Kates, 1999 *apud* Biagini et al, 2014). Além dessas categorias de adaptação,

destaca-se outra diferenciação, a tipologia do impulsionador da ação, os principais identificados são os desastres, variabilidade climática e mudanças climáticas.

Para Smit e Pilisova (2003) o termo adaptação é relativo, refere-se a um processo e uma condição do sistema. Assim envolve uma alteração em algo (o sistema de interesse, atividade, setor, comunidade ou região) para algo (o estresse ou estímulo relacionado ao clima). Os tipos de adaptação são diferenciados de acordo com vários atributos. Comumente as distinções utilizadas são o propósito e o tempo. Assim, para os autores a adaptação necessita da especificação de quem ou o que se adapta, o estímulo para o qual a adaptação é realizada e processo e a forma que assume. Partindo desse pressuposto e considerando as diversas classificações abordadas na literatura consultada, definiram-se as categorias abaixo, esclarecendo que estas foram definidas levando em consideração o tema central deste trabalho - mobilidade e adaptação - assim utiliza-se a seguinte classificação:

- Tipo: Reativa/Antecipatória, Autônoma/Planejada
- Forma: estrutural e não estrutural
- Estratégias: Recuar, Proteger e Acomodar
- Desempenho: Localizado ou difuso; incremental ou transformacional

Tipo de adaptação: Reativa/Antecipatória, Autônoma/Planejada

A adaptação do tipo reativa ocorre em resposta a impactos experimentados ou na recuperação de um dano já ocorrido. Por outro lado, a adaptação antecipatória ocorre antes dos impactos da mudança climática, corresponde à preparação prévia para enfrentamento das ameaças, e muitas vezes também é citada como adaptação proativa (IPCC, 2007; LE, 2020).

Segundo o IPCC (2007), a adaptação autônoma ou espontânea não constitui uma resposta consciente a estímulos climáticos, mas representa uma solução às mudanças ecológicas em sistemas naturais, de mercado ou no bem estar humano. Desse modo, configura invariavelmente uma resposta reativa aos estímulos climáticos como uma iniciativa que ocorre “naturalmente” sem a intervenção direta do poder público, são largamente consideradas como iniciativas de atores privados (Smit e Pilifosova, 2003). Em contrapartida, as adaptações planejadas podem ser reativas ou antecipatórias (realizadas antes que os impactos sejam aparentes) e, geralmente é resultado de deliberações políticas de algum órgão

público com base na consciência de que as condições mudaram ou estão prestes a mudar, portanto torna-se necessária alguma ação para minimizar perdas ou tirar proveito de alguma oportunidade (Pittock e Jones, 2000 apud Smit e Pilifosova, 2003). As adaptações planejadas estão relacionadas às intervenções realizadas pelos órgãos públicos, são chamadas de "estratégias de intervenção". Assim, a adaptação autônoma e planejada corresponde em grande parte à adaptação privada e pública, respectivamente.

Portanto a adaptação autônoma pode ser considerada uma ação não propositalmente realizada em respostas às mudanças climáticas observadas ou previstas, mas ainda assim podem ter bons resultados para a resiliência urbana uma vez que atua na redução de alguma vulnerabilidade específica. Porém, segundo o quinto relatório do IPCC, esta classificação tem sido frequentemente utilizada de forma inconsistente, pois o termo é comumente utilizado para se referir a ações de adaptação proposital realizadas por agentes sem influência externa, como políticas, informações ou recursos.

Levando em consideração a classificação utilizada por Smit e Pilifosova (2003), Lemos (2010) utiliza o termo adaptação autônoma para se referir ao propósito da adaptação. De acordo com a autora este tipo é utilizado para reduzir uma vulnerabilidade ou potencial de impacto específico, enquanto a adaptação planejada está inserida em um processo de planejamento global para um determinado sistema urbano, é aquela que atua para a ampliação da capacidade adaptativa como estratégia de abordagem.

A partir da argumentação de Lemos (2010), pode-se aferir que a adaptação autônoma, apesar de ser necessária em algumas situações, por ter uma visão limitada das vulnerabilidades locais, por vezes pode reduzir essa vulnerabilidade específica, mas pode contribuir para ampliar a vulnerabilidade em outra localidade. Como por exemplo, ações para evitar alagamentos em determinadas regiões, que podem contribuir para ampliar o problema em outra região, se não forem devidamente planejadas.

Os tipos de adaptação se misturam e se sobrepõem, ou seja, as ações de adaptação planejada podem ser reativas ou antecipatórias, com agentes públicos ou privados. Da mesma forma, a adaptação autônoma pode inicialmente ter sido aplicada isoladamente em resposta reativa, mas pode torna-se antecipatória com envolvimento de agentes públicos e privados.

Forma: física, social e institucional

Segundo Noble et al (2014) as formas de adaptação podem ser categorizadas em três grupos principais: (1) estrutural/ física, (2) social e (3) institucional. Entretanto, os autores ressaltam que dificilmente qualquer categorização seja universalmente aceita; mas a diferenciação leva em conta a diversidade de opções de adaptação para diferentes setores e partes interessadas. Além disso, algumas opções de adaptação estão inter-relacionadas.

A forma estrutural (1) representa produtos e resultados claros que são bem definidos em escopo, espaço e tempo. Essa categoria está subdividida em opções estruturais/engenharia, tecnológicas, soluções baseada na natureza (SbN) e serviços. A forma de adaptação está relacionada à tecnologia pela qual esta ocorrerá, podendo variar de acordo com os recursos e o propósito. De modo geral, as medidas estruturais e engenharia podem ser descritas como qualquer construção física que possa reduzir ou evitar possíveis impactos nas estruturas ou sistemas (UNISDR, 2009). As opções tecnológicas representam um conjunto de tecnologias com potencial de transformação em diversas áreas, como a agricultura, habitação, saneamento entre outros. Essa subdivisão inclui principalmente soluções baseadas nas Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), pode ser definida como um conjunto de recursos tecnológicos, utilizados de forma integrada, com um objetivo comum. As opções SbN utiliza a natureza e seus serviços ecossistêmicos como parte de uma estratégia de adaptação para ajudar as pessoas a se adaptarem aos efeitos adversos das mudanças climáticas (Noble et al, 2014). Além de serem vantajosas por seus co-benefícios, que costumam ir além de vulnerabilidades específicas de um setor e proporcionar ganhos mais amplos para a sociedade como o sequestro de carbono (Ministério do Meio Ambiente, 2015). Por fim, a prestação de serviços consiste em uma gama diversificada de atividades específicas e mensuráveis. Por exemplo, serviços de apoio à saúde pública, programas alimentares e a manutenção de serviços que sofrerão ainda mais estresse devido às mudanças climáticas, como o sistema de drenagem e abastecimento de água.

Com relação à forma social (2), essas são opções de adaptação que visam reduzir vulnerabilidades específicas de grupos sociais menos favorecidos. Refere-se à geração e implementação de estratégias de adaptação conduzidas localmente,

operando num paradigma de aprendizagem pela prática, de baixo para cima, que atravessa os sectores e as tecnologias, sociais e institucionais. As opções institucionais (3) representam inúmeras medidas que podem ser usadas para promover a adaptação. Estas variam de instrumentos económicos, como impostos, subsídios e acordos de seguro, a políticas e regulamentações sociais. As leis, regulamentos e medidas de planeamento, como áreas protegidas, códigos de construção e zoneamento, são medidas institucionais que podem melhorar a segurança de comunidades propensas a riscos, designando o uso da terra para apoiar a resiliência. (Noble et al (2014).

Estratégias: Recuar, Proteger, Acomodar

A escolha da estratégia de adaptação pode variar significativamente em função dos recursos disponíveis e da vulnerabilidade específica. Na literatura essas estratégias aparecem relacionadas às opções de adaptação para zonas costeiras suscetíveis à elevação do nível do mar, mas, em geral, são aplicáveis a todos os riscos climáticos (IPCC, 2014; Eichhorns, 2009).

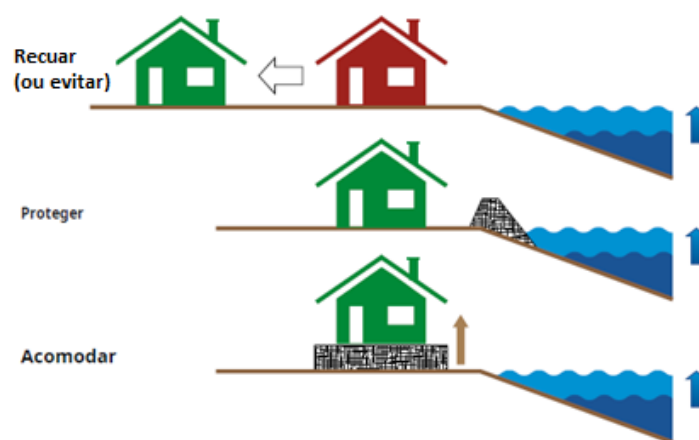


Figura 5: Estratégias de adaptação

Fonte: Eichhorns, 2009

Recuar: essa solução geralmente é a resposta quando os possíveis impactos para a vida humana, económicos e no meio ambiente são excessivos e nenhuma alternativa é viável. Portanto, a linha costeira é abandonada e o sistema natural costeiro avança sobre o litoral. Enquanto recuar de áreas de alto risco de um perigo climático (seja pela elevação do nível do mar, inundações, deslizamentos de terra ou qualquer outro risco) geralmente é adotada como último recurso, mas em um contexto de planeamento urbano desejável, o recuo se traduz em evitar

desenvolvimento em áreas de alto risco, o que é uma opção menos custosa de adaptação.

Proteger: Tem a função de reduzir a probabilidade de ocorrência de perigo costeiro, a partir de soluções de engenharia “duras” (construção de diques e outras barreiras) ou leves (dunas de vegetação, nutrição de praias, reivindicação de terras). No entanto, um risco residual permanece sempre e a proteção completa não pode ser alcançada. A gestão do risco residual é fundamental para uma estratégia de proteção. Conforme percebido na imagem acima, a proteção pode ser entendida como uma ação “externa” ao sistema. Enquanto a acomodação é pode ser percebido como um atributo “interno” ao sistema.

Acomodar: representa a continuação das atividades na área exposta, mas com algum nível de ajustes na estrutura física para minimizar perdas e aumentar a capacidade de lidar com os efeitos dos riscos costeiros. Não pretende evitar a inundação, apenas se adequar para evitar maiores danos. Essas medidas incluem a modernização de edifícios a fim de torná-los mais preparados para as consequências de inundações, elevação de pontes ou aumento da capacidade de abrigo físico.

Segundo Biagini et. al. (2014), com exceção da estratégia de “evitar”, essas abordagens tendem a ser reativas e são usuais em países em desenvolvimento. Em países desenvolvidos o foco é em adaptações proativas e focadas no planejamento, monitoramento, aumento da conscientização, construção de parcerias e aprimoramento da aprendizagem ou pesquisa. A proteção tem sido a principal resposta e isso parece continuar. Entretanto a implementação de medidas proativas e juntamente com um planejamento urbano resiliente e sustentável criam oportunidades para outras abordagens conforme as cidades se desenvolvem. Uma vez que a redução dos riscos é um processo contínuo, e não somente um conjunto de medidas técnicas e precisa ser implementado nessa base.

Desempenho: Localizado ou difuso, incremental/ transformacional

O trabalho traz essa última categorização a fim de discorrer sobre a magnitude e o potencial de mudança da adaptação para a ampliação da resiliência em todo o sistema urbano, ou seja, o seu desempenho. Na classificação que Smit e Pilifosova (2003) desenvolvem, eles fazem a diferenciação entre medidas de

adaptação com base no escopo espacial de atuação das ações de adaptação, esse pode ser localizado ou difundido.

Partindo desse pressuposto, as adaptações localizadas seriam as medidas com efeitos pontuais sem a capacidade de fundamentar grandes mudanças, ou ainda ações superficiais sem promover mudanças estruturantes, mas ainda necessárias dependendo do contexto, como por exemplo, a implantação de ar condicionado no transporte público e as iniciativas de “tapa buracos” das prefeituras. Levando em consideração as colocações de Lemos (2010), com relação à definição de adaptação autônoma - que seria aquela que age sobre uma vulnerabilidade específica – pode-se dizer que predominantemente a adaptação localizada será autônoma. Já as ações difusas seriam o contrário, teriam potencial de promover mudanças estruturantes no sistema urbano no contexto da mudança climática e, fundamentar grandes transformações urbanas, passíveis de um efeito em cadeia. Como por exemplo, incentivos à mudança no comportamento de passageiros que podem alterar completamente a forma como as pessoas se locomovem sobre riscos climáticos. Neste caso, as ações difusas podem ser tanto autônomas como planejadas.

Com base no quinto relatório do IPCC (2014) a classificação de ações de adaptação incremental e transformacional se relaciona à manutenção ou não da essência e integridade dos sistemas tecnológicos, institucionais, de governança e de valores existentes, respectivamente. Apesar de a diferenciação entre adaptação incremental e transformacional é importante porque afeta a forma como é abordada a adaptação, como é integrada ao planejamento e na política e como recursos são alocados em países desenvolvidos e em desenvolvimento.

A adaptação incremental refere-se à manutenção dessa essência continua sendo o foco de grande parte da seleção de opções de adaptação para reduzir os impactos e alcançar co-benefícios, como por exemplo, os ajustes nos sistemas de cultivo com implantação de novas variedades e uso de irrigação mais eficiente. Em contraste, a adaptação transformacional é aquela que modifica os atributos fundamentais dos sistemas em resposta ao clima atual ou esperado e seus efeitos, em escala e propósitos maiores do que as atividades incrementais. Essas ações incluem mudanças nas atividades, como dos meios de subsistência da agricultura para a pecuária ou pela migração para obter um meio de vida em outro lugar, e também mudanças de percepções e paradigmas sobre a natureza da mudança

climática, adaptação e sua relação com outros sistemas naturais e humanos. São iniciativas que alteram a essência e a integridade dos sistemas.

Segundo o relatório, evidências crescentes indicam que as adaptações de transformação podem ser necessárias para se preparar para os impactos climáticos. Ainda que outrora tenha se priorizado as ações incrementais, com estratégias baixo-arrependimento, sem arrependimento ou ganha-ganha, continuam a ser aplicadas. Em alguns casos uma resposta adaptativa adequada significará agir em face da incerteza contínua sobre a extensão da mudança climática e seus impactos, o que pode limitar a eficácia das abordagens incrementais. Por este motivo, acredita-se na necessidade de mudanças mais transformadoras na percepção e paradigmas existentes sobre a natureza da mudança climática, adaptação e sua relação com outros sistemas naturais e humanos (IPCC, 2014). No entanto, a mudança transformacional não é necessária em todas as respostas às mudanças climáticas (Pelling, 2010 apud IPCC, 2014) e mudanças transformadoras mal planejadas podem ampliar vulnerabilidades e problemas sociais, daí a importância das avaliações de vulnerabilidade para as ações adaptativas.

Apesar de essas definições terem um caráter ainda subjetivo e qualitativo, pretende-se com essa categoria identificar o potencial de transformação, e o grau de mudança que essas ações de adaptação podem alcançar para a resiliência urbana no contexto da mudança climática. Estas podem ser de diversos tipos e escalas, devendo atuar diretamente sobre a redução da exposição e nas componentes da vulnerabilidade: sensibilidade e capacidade adaptativa. Para este trabalho, as categorias de adaptação estão agrupadas em função do tipo, forma, estratégia e desempenho. Resumida no quadro a seguir:

Categorias de adaptação	Tipo	Reativa/Antecipatória, Autônoma/Planejada	Adaptação reativa/antecipatória está relacionado ao tempo de resposta; autônoma/planejada está relacionada a resposta consciente ou não aos impactos da mudança climática.
	Forma	Física/estrutural, social e institucional	Relacionado ao tipo de tecnologia pela qual ocorrerá a adaptação, variando de acordo com os recursos e o propósito.
	Estratégias	Recuar, Proteger, Acomodar	Estratégia que será adotada em função da vulnerabilidade e recursos disponíveis.
	Desempenho	Localizado/difuso, incremental/ transformacional	Relacionada à magnitude e ao potencial de mudança das ações.

Tabela 2: Resumo das categorias de adaptação

Fonte: autora

3.3.**Estratégias de adaptação para sistemas de transporte**

Para o enfrentamento das variações climáticas futuras, novas ferramentas precisam ser integradas ao planejamento de transporte (Eichhors, 2009). Dentre estas destaca-se a incorporação de cenários climáticos regionais, avaliações de vulnerabilidade e risco ou capacitação de profissionais para proteção contra o clima. Assim, seguindo com a discussão, agora se torna necessário discorrer sobre as estratégias de adaptação específicas para o setor de transporte. Este item busca relacionar as categorias de adaptação gerais para o setor de transporte, os atores envolvidos, assim como os riscos climáticos aos quais o setor está sujeito.

Com relação à adaptação para o setor de transportes os autores Eisenack et al. (2012) propõem a estrutura de adaptação exemplificada na figura 6. Nesta abordagem é importante a diferenciação entre os atores, o propósito ou alvo de uma ação e o ato em si. Para os atores sociais, geralmente se estabelece uma distinção entre indivíduos, coletivos de indivíduos e organizações (por exemplo, empresas e órgãos públicos). Um operador é um ator individual ou coletivo que toma medidas cujo objetivo é a adaptação. Para este fim, meios (por exemplo, recursos, informações, etc.) são necessários para que o operador alcance os fins pretendidos. Esses fins estão associados a (outros) atores, sistemas físico-sociais, chamados receptores de uma adaptação.

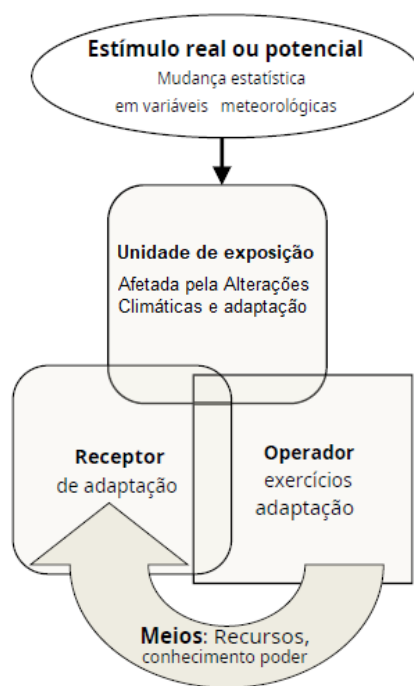


Figura 6: Estrutura de adaptação para o setor de transporte

Fonte: Eisenack et al. (2012)

O fornecimento de informações como uma medida de adaptação deve ser motivado pelo aumento real ou esperado da frequência e magnitude dos eventos de precipitação, o que representa o estímulo. As unidades de exposição são usuários, prestadores de serviços de transporte, infraestrutura, veículos, todos que possam estar diretamente expostos. O operador é um órgão público que coleta e fornece as informações, sendo estas últimas o meio da ação. Do ponto de vista desta estrutura, pode-se dizer que a adaptação às mudanças climáticas são respostas sociais de indivíduos ou organizações em sentido amplo, direta ou indiretamente destinado a mudar a forma como as unidades de exposição são afetadas pelos estímulos decorrentes da mudança climática (Eisenack et al, 2012).

Entretanto, a implantação das medidas de adaptação é extremamente desafiadora, devido à diversidade de atores envolvida no processo. Isso é particularmente verdadeiro para o setor de transportes, onde as necessidades de mobilidade da população, interesses públicos e privados relacionados ao setor devem estar em harmonia, conforme argumenta Eisenack et al, (2012), para que as medidas de adaptação consigam ter resultados satisfatórios. Assim é indispensável uma coordenação em nível nacional, regional e local para a implementação de estratégias de adaptação para os transportes, uma vez que os impactos das

mudanças climáticas são generalizados e se estendem por várias escalas (IPCC, 2014).

Segundo o quinto relatório do IPCC (2014), quatro diferentes aspectos das estratégias de adaptação para o transporte podem ser destacados: manter e gerenciar; fortalecer e proteger; aumentar a redundância; e, quando necessário, realocação. De encontro a estas quatro principais estratégias, o PBMC (2014) identifica algumas alternativas, como: realocação de estradas e vias para evitar danos durante tempestades, mudanças nos projetos, substituição e adequação de estruturas, como pontes, estradas e pavimentos, para suportar os possíveis efeitos que a mudança climática poderá gerar para o setor. Além dessas alternativas, Mehrotra et al. (2018) acrescenta a necessidade de atualização de sistemas de drenagem de águas pluviais; do planejamento de novas construções de acordo com os padrões de resistência ao clima; e políticas que incorporem projeções climáticas aos ciclos de manutenção.

Relacionando as categorias de adaptação gerais apresentadas anteriormente com o setor dos transportes, a realocação ou retirada de áreas de alto risco climático (seja aumento do nível do mar, inundações, deslizamentos de terra ou qualquer outro risco) essa medida é considerada em último caso, mas em um contexto de planejamento ideal, essa retirada se traduz em evitar o desenvolvimento nessas áreas. A proteção (ou fortalecimento) da infraestrutura pode incluir tanto medidas estruturais ou “duras” como, por exemplo, estruturas quebra-mar, como não estruturais ou “suaves” (por exemplo, proteção de mangues para amortecer tempestades – neste caso baseadas na natureza). Medidas protetoras não estão limitadas às ações para conter inundações terrestres ou costeiras, mas incluem quaisquer outros meios que ajudem a proteger a infraestrutura de transporte ou mesmo a mobilidade no sentido mais amplo, como espaços verdes ou árvores que fornecem sombreamento, melhoram o microclima urbano, contribuem para a permeabilidade do solo, adicionam proteção extra contra o vento, entre outros. Assim, a proteção ou o fortalecimento, no contexto desse trabalho, se traduz em ações externas ao sistema de transporte, mas que contribuem para a funcionalidade e continuidade do serviço.

Desse modo, como a proteção como medidas “externas”, a acomodação (ou segundo o IPCC, 2014 “manter e gerenciar” para o transporte) significa adaptar o sistema de transporte ou a própria infraestrutura, ou seja, representa soluções

“internas” ao sistema. Pode incluir medidas duras (principalmente na infraestrutura e veículos) e medidas suaves (relativas aos sistemas de transporte como um todo). As soluções estruturais podem afetar os padrões de projeto e materiais de construção para resistir a níveis mais altos de inundação ou temperatura ou incluindo ar condicionado em veículos, enquanto medidas suaves poderiam abranger o planejamento de rotas de ônibus de emergência ou até mesmo o fortalecimento das redes de transporte público para aumentar a resiliência geral do sistema (Eichhorns, 2009).

O IPCC (2014) destaca a redundância como uma estratégia de adaptação para ser incorporada ao setor de transporte. Nesse mesmo sentido, para Eichhorst (2009) a redundância está entre as principais medidas de adaptação para o setor. Para o autor construir alguma capacidade sobressalente no sistema pode reduzir significativamente a vulnerabilidade do sistema de transporte, uma vez que as rotas alternativas podem diminuir a influência de um impacto na capacidade do sistema de transporte. Isso é particularmente importante em cidades densamente ocupadas, onde os sistemas de transporte geralmente já operam no limite da capacidade. A redundância também é essencial no gerenciamento de risco de desastres para garantir uma evacuação eficiente. Assim, será indispensável uma reavaliação abrangente das práticas e procedimentos de projeto que devem incluir a avaliação de risco de mudança climática para o setor e identificação e seleção apropriada de políticas, programas e projetos.

Adaptação do transporte urbano de passageiros não se limita apenas a uma abordagem técnica, esta também requer mudanças comportamentais dos usuários de transporte e uma mudança de pensamento na metodologia de planejamento, a adaptação deve ser entendida como um processo de aprendizagem contínuo. A conscientização das autoridades municipais sobre a relevância local da adaptação é um pré-requisito para uma estratégia de adaptação bem sucedida. Cada departamento de governo em uma cidade precisa considerar os efeitos da mudança climática dentro de suas competências departamentais, como por exemplo, para ferrovias, estradas ou habitação. Mas estes também devem trabalhar em conjunto para desenvolver uma estratégia eficaz e integrada para todo o sector de transportes, estabelecendo um equilíbrio entre o acesso à mobilidade para todos, ampliação da resiliência e limitação das emissões de gases com efeito de estufa. Posteriormente, os planejadores de transporte precisam interagir com vários

outros atores, incluindo planejadores urbanos, especialistas em mudanças climáticas, gestores de risco de inundações e desastres, mas também fornecedores de transporte, empresas e sociedade civil. Somente assim com uma abordagem integrada e sistêmica será possível estabelecer estratégias para adaptar as cidades para minimizar os impactos da mudança climática (Noble et al, 2014).

Diferentes grupos de atores estão em condições de atuar nos aspectos distintos da mobilidade urbana: 1-As autoridades públicas são responsáveis por fornecer infraestrutura resiliente. Isso inclui principalmente os planejadores de transporte urbano-espacial, mas também outros departamentos, como os departamentos de construção e habitação, agências ambientais e de gestão de desastres ou de risco de inundação; 2-Os prestadores de serviços de transporte estão encarregados de fornecer veículos adequados para o transporte público, mas os requisitos de veículos / padrões de projeto podem ser formulados pelas prefeituras. Os veículos particulares são fornecidos por empresas privadas e podem exigir mudanças nas configurações ou acessórios dos veículos, como ar-condicionado; 3-Os usuários de transporte público, ciclista ou pedestre são afetados por impactos climáticos no transporte e farão escolhas individuais ou corporativas. Estas escolhas podem ser influenciadas pela disponibilidade de opções modais acessíveis, eficientes, confortáveis e seguras, mesmo em condições climáticas adversas. (Eichhors, 2009).

Voltando ao questionamento inicial "quem ou o que se adapta?" (Smit et al. 2000), após discorrer sobre atores envolvidos no processo de adaptação, nesse momento é pertinente estabelecer quem ou o que deve receber as ações de adaptação, ou seja, quem são os receptores envolvidos nas iniciativas de adaptação para o setor de transporte. Para Eichhors (2009), os impactos climáticos no transporte podem ser classificados em três aspectos: Impactos nas infraestruturas de transportes; impactos nos veículos e impactos no comportamento de mobilidade. Com a mudança climática, a infraestrutura de transporte que precisará ser construída e mantida para suportar as variações climáticas futuras, os veículos também precisarão ser adaptados para funcionarem bem em condições climáticas adversas e ainda proporcionar conforto durante as viagens. O comportamento também será afetado principalmente em dias de clima extremo, como ondas de calor, chuvas intensas e ventania. Desse modo, essas três

categorias serão consideradas como os receptores que devem receber as medidas de adaptação.

3.3.1.

Adaptação das infraestruturas rodoviárias

Levando em consideração os estudos de casos que serão apresentados posteriormente e o contexto da mobilidade urbana no Brasil, aqui a infraestrutura se restringe à rodoviária, que inclui também a base para o transporte não motorizado (ciclovias e passarelas). A infraestrutura rodoviária é a base para a maior parte da mobilidade pública, privada e comercial nos países em desenvolvimento como o Brasil. As soluções de adaptação podem oferecer duplo benefício de reduzir os impactos das mudanças climáticas no transporte urbano, bem como as consequências posteriores.

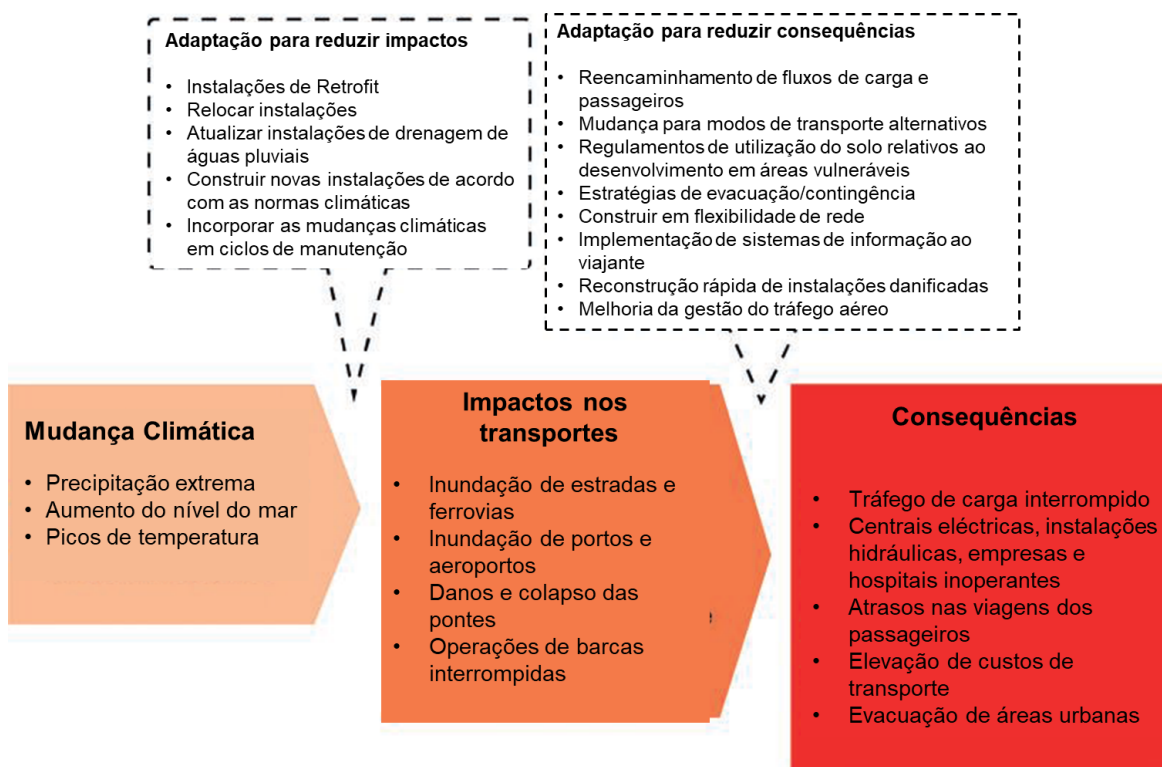


Figura 7: Adaptação para reduzir impactos e consequências

Fonte: Adaptado de Melillo et al., 2014

A tabela resume os perigos, impactos e soluções de adaptação associadas às mudanças climáticas. Muitos impactos da mudança climática projetados e as consequências para os sistemas de transporte podem ser reduzidos por meio de uma combinação de modificações na infraestrutura, sistemas de informação aprimorados e mudanças nas políticas e operações. As medidas de adaptação

podem ser desenvolvidas por escalas e táticas de curto, médio e longo prazo (solução rápida), projetos (tarefas), programas (sistemas), e políticas (institucionais, arranjos e processos). Algumas medidas recomendadas incluem táticas como realocar instalações e veículos para evitar danos durante tempestades; projetos como reformar instalações para proteger a infraestrutura existente, alterando a velocidade e os horários dos transportes e atualizando os sistemas de drenagem de águas pluviais; programas como a construção de novas instalações de acordo com os padrões de resistência ao clima; e políticas que incorporam projeções climáticas aos ciclos de manutenção (Mehrotra et al., 2018).

Complementando o entendimento, Eichhorns (2009) e Meyer (2008) apresentam algumas opções de adaptação de rodovias. Mas de um modo geral, as adaptações dos sistemas rodoviários se resumem à: Padrões de projeto e materiais mais resilientes para a construção de infraestrutura; Manutenções regulares; Planejamento urbano que evita áreas de alto risco; Minimizar a necessidade de infraestrutura viária através do planejamento urbano compacto; e redundância, conforme dito anteriormente.

Algumas dessas ações para adaptação apresentam benefícios além da ampliação da resiliência da infraestrutura rodoviária. Por exemplo, eficientes sistemas de drenagem ajudam no gerenciamento de enchentes, atenuando o risco de alagamentos, ao mesmo tempo em que podem coletar água da chuva para melhorar a capacidade de armazenamento e recarga de água subterrânea em áreas urbanas. Estratégia de grande relevância, visto que se espera que o estresse hídrico aumente em muitas cidades, tanto devido a fatores socioeconômicos quanto climáticos (Eichhorns, 2009). Muitas dessas medidas como o incentivo ao desenvolvimento urbano em locais ambientalmente adequados ou a adaptação de assentamentos para reduzir sua vulnerabilidade são ações de longo prazo e, portanto, precisam ser planejadas em tempo hábil. Evitar áreas de alto risco em cidades que ainda estão em processo de urbanização é uma oportunidade para reduzir o risco de desastres.

3.3.2

Adaptação nos veículos e comportamento dos motoristas e passageiros● Transporte público

O transporte público coletivo eficiente é um dos principais atributos para a sustentabilidade e resiliência das cidades, em função de sua característica mitigadora, esta dissertação busca abordar principalmente as formas de adaptação neste setor específico do sistema de transporte. Este engloba diferentes meios: ônibus, micro-ônibus, vans, metrô, trens, bondes e táxis, entre outros. Na maioria das cidades em crescimento, a maior parte da mobilidade urbana é realizada por meio de ônibus ou mini ônibus. (Eichhors, 2009).

É importante destacar que o planejamento do transporte público deve estar integrado ao planejamento da infraestrutura rodoviária para um sistema eficiente e resiliente. O transporte público precisa ser resiliente porque primeiramente, é a única opção de mobilidade motorizada para a maior parte da população, e segundo para permanecer atraente também para aqueles que podem pagar pela mobilidade particular, assim evitando a transferência modal para um transporte mais intensivo em emissões, o que agravaria ainda mais a crise climática.

Como os impactos na infraestrutura de transporte já foram apresentados, este item concentra-se nas adaptações necessárias para veículos e comportamento, tanto dos condutores/operadores quanto dos passageiros de transporte público. Os veículos terão essencialmente de ser projetados para suportar temperaturas mais altas: por um lado, o aumento das temperaturas aumentará o estresse térmico para passageiros e motoristas de ônibus e trens sem refrigeração ou ar-condicionado. Além disso, o impacto das altas temperaturas no transporte público sem refrigeração pode reduzir ainda mais a qualidade e a atratividade dos sistemas de transporte público e, portanto, em longo prazo, pode apoiar uma mudança modal para carros particulares para aqueles que podem pagá-los. Neste caso, a adaptação ao aumento da temperatura anda de mãos dadas com a construção de sistemas de transporte sustentáveis adequados para o desenvolvimento de cidades e oferecendo uma alternativa para uma maior motorização (Eichhors, 2009).

Conforme mencionado acima, devido ao acesso limitado da população carente à mobilidade privada, o transporte público tem enorme relevância para o

gerenciamento de risco de desastres e evacuação. Assim, os planos de evacuação para riscos climáticos (tempestades e inundações) devem fornecer serviços de transporte público suficiente (e gratuito) para a evacuação.

A implantação de sistemas de alerta é particularmente importante para o gerenciamento de transporte. Como o uso de sensores e dispositivos que fornecem informações em tempo real sobre as condições de tráfego na rede, incluindo as previsões climáticas, com possibilidade ou não de eventos climáticos com impacto para as rotas. Além disso, para uma ação antecipatória é imprescindível incluir na rede de monitoramento das linhas, sistema de informação ao usuário. Possibilitando a este optar por usar o meio de transporte mais adequado de acordo com as previsões climáticas, ou ainda, saber de antemão da obstrução de algum ponto da rede, e assim evitar essa região.

Como parte interessada, os usuários também poderiam atuar como coletores de dados, trabalhando em conjunto com a administração pública e operadores de transporte no gerenciamento das intervenções de trânsito e transporte. O manuseio desses fluxos de informação requer a implantação de tecnologias de comunicação para facilitar a troca de dados entre todos os atores envolvidos na manutenção da funcionalidade da mobilidade (EEA, 2014).

- Transporte individual não motorizado

Os eventos climáticos extremos podem desestimular a mobilidade a pé e o uso de bicicleta como forma de locomoção na cidade, pelo menos para percursos mais distantes. O que pode acarretar a migração para modos de transporte motorizados, onde estes estão disponíveis e acessíveis, ou pode impedir seriamente a mobilidade geral dos residentes urbanos, que dependem de caminhadas e ciclismo. Por outro lado, para distâncias curtas, os impactos podem ser mínimos, o que demonstra a importância de um desenho urbano denso e sustentável para uma mobilidade resiliente. O planejamento de uso e ocupação do solo que favoreça distâncias mais curtas pode reduzir a demanda por viagens, e consequentemente a exposição a condições climáticas adversas (Medeiros, 2019). Ou seja, desenho urbano denso, ao mesmo tempo em que favorece o desenvolvimento do transporte sustentável, reduz a demanda por viagens e as emissões, representando uma medida de mitigação e adaptação simultaneamente.

As ações para melhorar a qualidade e a segurança do transporte não motorizado, como ciclovias e passarelas dedicadas e sombreadas, serão ainda mais importantes para manter a atratividade desse modal, em virtude das possíveis condições extremas do clima. Assim, preservar (ou melhorar) a atratividade desse modo é fundamental para evitar uma transferência modal para um transporte motorizado mais intensivo em emissões, o que contribuiria para a mudança climática (Medeiros, 2019).

- Transporte individual motorizado

Pesquisas empíricas apontam para uma diminuição da velocidade de tráfego em dias chuvosos, e maior probabilidade de ocorrência de acidentes, embora a gravidade pareça diminuir, provavelmente devido à menor velocidade do tráfego. Consequentemente, a precipitação eleva o tempo de viagem, isto é particularmente relevante para muitas cidades que já sofrem com o congestionamento do tráfego.

A resposta comportamental depende da intensidade da precipitação, da infraestrutura viária e, provavelmente, do contexto sócio cultural dos motoristas. Por exemplo, nevascas inesperadas em Pequim, na China, em novembro de 2001, causaram um pesado congestionamento dos transportes, porque os usuários não estavam acostumados a dirigir sob condições de neve e veículos não estavam equipados com pneus de inverno (Eichhorns, 2009). Serão necessárias medidas educativas e sistemas de informações eficientes para contornar os efeitos desse tipo de comportamento.

Resumidamente, as medidas de adaptação para reduzir as consequências dos impactos das mudanças climáticas sobre o transporte urbano podem ser implementadas no curto, médio e longo prazo. No curto prazo vão desde as táticas de redirecionamento dos fluxos de passageiros e substituição dos meios de transporte até projetos como a construção de uma rede flexível e a reconstrução de instalações danificadas. Em médio prazo, programas como a criação de sistemas de informação ao viajante e políticas para regular o uso do solo em áreas vulneráveis e o desenvolvimento de estratégias de contingência de evacuação devem ser considerados (Mehrotra et al., 2011; Melillo et al., 2014). As medidas de adaptação de longo prazo para redução de risco incluem reavaliar os padrões de

projeto para incorporar as projeções de mudanças climáticas e considerar a vida útil dos sistemas de transporte, de acordo com essas projeções.

Em alguns casos, as políticas de curto e médio prazo são mais eficazes para lidar com enchentes e aumento do nível do mar em um período de 30 a 40 anos. As políticas de longo prazo podem se concentrar nas variações de temperatura projetadas em um período de 40 a 100 anos (Meyer, 2008). Em todos os casos é desejável o monitoramento constante e a reavaliação das políticas para responder às mudanças nas informações de risco climático.

4.

Planejamento urbano para mobilidade no contexto da mudança climática

4.1.

O atual modelo de mobilidade urbana

A Mobilidade Urbana é definida como a condição em que se realizam os deslocamentos das pessoas e bens nas cidades, com variáveis tão complexas quanto as que constituem a própria cidade (Kneib, 2012). Ainda segundo a autora, a mobilidade está relacionada à articulação e união de políticas de transporte, circulação, acessibilidade, trânsito, desenvolvimento urbano, uso e ocupação do solo, dentre outras. Com essa variedade de temas relacionados à mobilidade, tem-se o vislumbre da complexidade do tema. Vaccari e Fanini (2016) também argumentam que a mobilidade é um atributo relacionado ao deslocamento das pessoas e a realização de suas atividades cotidianas na cidade. Desse modo, pode-se dizer que a mobilidade está diretamente relacionada ao espaço físico e as interações econômicas e sociais da população e seus desdobramentos.

Diante desta definição pode-se afirmar que as diversas questões que envolvem o planejamento de transporte, estão associadas primeiramente a forma urbana, o modelo de expansão influencia os meios de transporte adotados pela população (Raven et al., 2018). Ou seja, estão intrinsecamente ligadas ao planejamento urbano, isto é, o crescimento das cidades que é influenciado pelos meios de transporte disponíveis à sua população (Magagnin ; Silva, 2008).

De acordo com Ritchie e Thomas (2009), a cidade é um complexo sistema formado por vários componentes que regularmente interagem e são interdependentes, que formam um todo unificado. Segundo o autor, os principais fatores que levam a sustentabilidade ambiental podem ser visualizados como o triângulo na figura 8. O ápice é a forma /densidade, na base tem-se o movimento/transporte e construções/energia (uso e produção), a forma urbana afetará a energia utilizada para o transporte e construções. Assim, a forma e densidade influenciam os modos de mobilidade nos centros urbanos, além de o uso de energia e consequentemente os níveis de emissões dos gases GEE (Ritchie; Thomas, 2009).

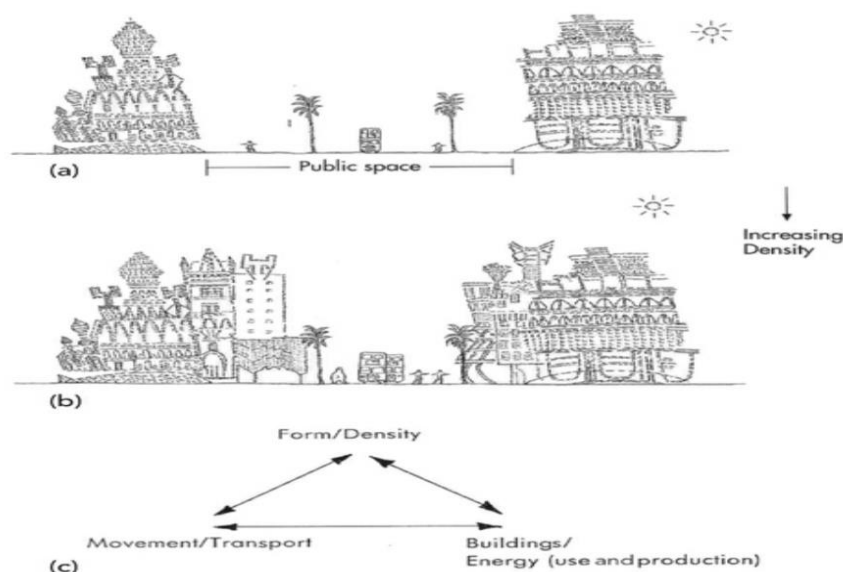


Figura 8: Fatores para sustentabilidade ambiental

Fonte: Ritchie; Thomas, 2009

Desde meados do século XX, a forma urbana nas cidades começou a mudar, estas se tornaram cada vez mais extensas, a partir da expansão da malha urbana (Stone et al., 2010). Apesar de o automóvel ter revolucionado a mobilidade, em vários aspectos esse modelo mostrou-se prejudicial às interações espaciais da cidade. A morfologia urbana modificou-se aos poucos para seu uso que exercia o papel de facilitar o processo de incorporação de novas áreas ainda desocupadas e deslocadas do tecido urbano (Vaccari e Fanini, 2016; Medeiros, 2019; Siqueira, 2019). Essa influência é notadamente perceptível para autora Jane Jacobs (2011), segunda ela o automóvel, o principal meio de transporte após a revolução industrial, causa um “efeito erosão”, ou seja, a destruição das cidades “para as pessoas”, em favor do uso do automóvel, este efeito é proporcional ao aumento da dependência do automóvel em uma cidade. Nesse sentido a autora descreve o efeito:

[...] Por causa do congestionamento de veículos, alarga-se uma rua aqui, outra é retificada ali, uma avenida larga é transformada em via de mão única, instalam-se sistemas de sincronização de semáforos o trânsito flui rápido, duplicam-se pontes quando sua capacidade se esgota, abre-se uma via expressa acolá e por fim uma malha de vias expressas. Cada vez mais solo vira estacionamento, para acomodar um número sempre crescente de automóveis quando eles não estão sendo usados. (Jacobs, 2011, p. 389).

Segundo a autora, esse processo de erosão das cidades pelos automóveis é um exemplo do que seria a “retroalimentação positiva”. De tal modo que uma ação produz uma reação que intensifica a situação a qual originou a primeira ação.

Isso intensifica a necessidade de repetição da primeira ação, que por sua vez intensifica a reação e assim por diante, *ad infinitum*. Consequentemente, houve um agravamento significativo da poluição do ar, amplificação do efeito das ilhas de calor, por meio do aumento da impermeabilidade e redução da cobertura verde nas áreas urbanas. (Stone et al., 2010). Além do mais, com a popularização desse modo de transporte, este passou a ser objeto de desejo e símbolo de status social (Barretto e Gilson, 2013). Assim as diretrizes do planejamento urbano priorizaram o transporte individual motorizado, deixando de lado o transporte coletivo e outros modais sustentáveis. Entretanto, atualmente há um direcionamento das diretrizes para soluções mais integradas ao contexto socioambiental local e global (Vaccari e Fanini, 2016).

Para melhorar a mobilidade nas cidades, segundo Kneib (2012) a principal solução é a reversão da matriz modal atual, a qual se sustenta no deslocamento motorizado individual, para a priorização e valorização dos modos coletivos e não motorizados de deslocamento. Se este processo estiver acompanhado de soluções para adaptação será muito mais eficiente para a resiliência urbana, em um cenário de mudança climática. Entretanto romper com esse padrão é evidentemente complexo devido a todas as questões econômicas, sociais e culturais envolvidas.

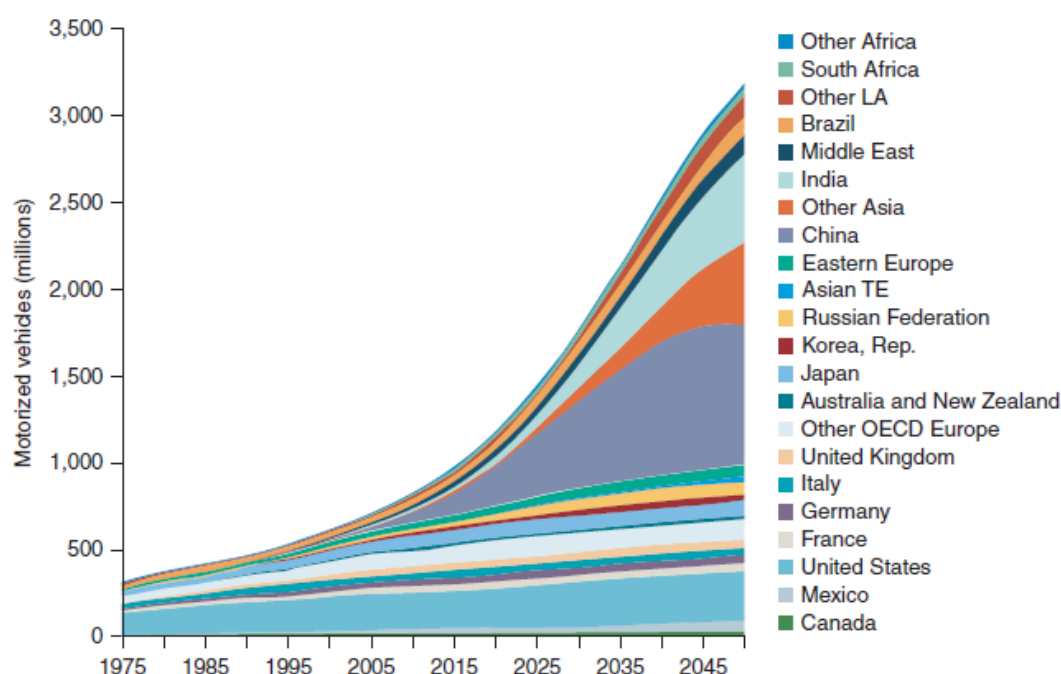


Figura 9: Taxa de Crescimento atual e projetado na aquisição de veículos

Fonte: Mehrotra et al., 2018.

O número de veículos individuais é crescente, principalmente nos países em desenvolvimento como o Brasil, que apresentam facilidade de acesso aos veículos motorizado e baixa qualidade do transporte coletivo. Entretanto, os sistemas de transporte urbano com foco no automóvel não fornecem mobilidade para todos os segmentos da população urbana (Mehrotra et al., 2018), o que constitui uma vulnerabilidade. Uma vez que a falta ou dificuldade de acesso da população aos meios de transporte pode ampliar sua exposição às ameaças climáticas.

4.2.

Planejamento urbano para a mobilidade no Brasil

A partir da década de 1950, o processo de industrialização do país e o rápido crescimento da população urbana, principalmente nas áreas periféricas, não foi acompanhado no mesmo ritmo por infraestruturas e serviços capazes de atender a esse contingente. Conforme comentado na sessão anterior, o modelo de expansão e a densidade influenciam os meios de transporte adotados pela população (Raven et al., 2018), e a dispersão territorial gerou novas demandas por transportes nas cidades brasileiras. Assim, os deslocamentos passaram a ser realizados em sua maioria por ônibus urbanos, mas muitas vezes sem a infraestrutura adequada, contribuindo para a migração de usuários para o transporte individual motorizado.

Diante desse cenário, o governo Federal formulou novas políticas para o planejamento urbano no Brasil. O principal marco de mudança foi a aprovação da Lei n. 10.257, de 10 de julho de 2001, que estabelece o Estatuto da Cidade. É a regulamentação oficial do capítulo “Política Urbana” da Constituição Federal, detalha os artigos 182 e 183 e estabelece uma série de instrumentos para a institucionalização de políticas de desenvolvimento urbano. Dentre esses, o Plano Diretor é o principal e reúne uma série de dispositivos para orientar e regular o desenvolvimento urbano de municípios (Ministério Das Cidades, 2017; Espíndola ; Ribeiro, 2020).

Entretanto, o Estatuto da Cidade não dispõe sobre mobilidade urbana, apenas estabelece que cidades com mais de 500 mil habitantes devem elaborar um plano de transporte urbano integrado, compatível com o Plano Diretor ou nele inserido. Após 17 anos de trâmites, foi promulgada a Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU), pela Lei nº 12.587, de 03 de janeiro de 2012, que estabelece princípios, diretrizes e objetivos para orientar o planejamento, a

implementação e o acompanhamento das ações de mobilidade urbana nas cidades brasileiras. A PNMU fundamenta-se no princípio do desenvolvimento urbano sustentável, e busca promover a mitigação dos custos ambientais, sociais e econômicos dos deslocamentos de pessoas e cargas na cidade. Além de Incentivar uso de energias renováveis e menos poluentes, com a priorização dos modos de transporte não-motorizados sobre os motorizados e do transporte público coletivo sobre o individual motorizado (Ministério das Cidades, 2017; Brasil, 2012)

A principal ferramenta para a efetivação do planejamento da mobilidade urbana estabelecida na PNMU é o Plano de Mobilidade Urbana (PMU), obrigatório para os municípios acima de 20 mil habitantes. Os municípios integrantes de regiões metropolitanas e aglomerações urbanas, integrantes de áreas de especial interesse turístico, inseridos na área de influência de empreendimentos de significativo impacto ambiental também devem elaborar seus respectivos planos de mobilidade independentes de sua população (Brasil, 2012, Ministério das Cidades, 2017). As prefeituras deveriam apresentar seus planos até 12 de abril de 2019, mas essa data foi prorrogada, a nova data estabelecida é até 12 de abril de 2022 para cidades com mais de 250 mil habitantes e de 12 de abril de 2023 para cidades com até 250 mil habitantes. O município que não atender à este prazo, somente terá acesso a recursos federais para a elaboração do próprio plano (Brasil, 2020).

Os Planos de Mobilidade Urbana tem a finalidade de traduzir os objetivos de melhoria da mobilidade urbana local em metas, ações estratégicas e recursos materiais e humanos, viabilizando os meios necessários para contribuir o desenvolvimento da cidade (Machado; Piccinini, 2018). A partir da lei de mobilidade, o assunto da mobilidade urbana amplia-se para se inter-relacionar aos outros temas inerentes ao planejamento urbano sustentável, como a ordenação do uso do solo e com a qualidade ambiental local, regional e global (Ministério das cidades, 2015).

A elaboração dos planos devem seguir obrigatoriamente duas etapas prévias – a de diagnóstico e a de prognóstico da mobilidade urbana. Na primeira, busca-se coletar, sistematizar e analisar um conjunto de dados específicos dos sistemas de mobilidade urbana, bem como informações relevantes sobre o contexto e a evolução socioeconômica da cidade, a legislação incidente etc. Tem como objetivo identificar claramente os problemas de mobilidade enfrentados pela

população na cidade, e as suas causas. Um diagnóstico bem elaborado é primordial para o estabelecimento das ações regulatórias que a cidade vai implementar nos próximos anos. A etapa de prognóstico toma como base os dados obtidos no diagnóstico e, usando diferentes metodologias (como modelagens de transporte), projeta, para o futuro, o comportamento dos sistemas de mobilidade, considerando a situação atual e as alternativas possíveis de gestão. (Ministério das Cidades, 2015; 2017). Entretanto as alterações climáticas projetadas para o território brasileiro impactam a efetividade da PNMU, influenciando o planejamento e os investimentos de curto, médio e longo prazo.

5.

Metodologia

5.1.

Seleção dos planos

Como visto, em virtude do contexto social em que estão inseridas, as populações mais vulneráveis terão desafios adicionais para enfrentar as ameaças da mudança climática. Com base nessa premissa, a seleção das cidades teve o seu primeiro recorte: as regiões Norte e Nordeste do Brasil. Os indicadores sociais de pobreza demonstram que o norte e nordeste do país concentram os maiores índices, segundo o IBGE (2020). Somente a região Nordeste concentra quase metade de toda a pobreza no Brasil (47,9%) proporcionalmente à densidade populacional. Em seguida, também com índice alto, vem a região Norte, com 26,1%, o Sudeste é a terceira região, com 17,8%, seguido pelo Centro-Oeste (2,5%) e Sul (5,7%). Além desses índices, as regiões Norte e Nordeste, têm a maioria de suas capitais em regiões costeiras de baixa elevação, suscetíveis a elevação do nível do mar e outros eventos climáticos (IBGE, 2021).

Desse modo, o próximo recorte restringe os estudos de caso para as capitais dessas regiões, que elaboraram seus planos a partir de 2015, ano de assinatura do Acordo de Paris. Este acordo representa um esforço mundial para controlar as emissões de gases GEE e limitar o aumento de temperatura média global a 1,5°C. O Brasil como um dos signatários precisará incentivar que cidades, especialmente as capitais, empenhem-se para atingir as metas firmadas pelo país (Espíndola; Ribeiro, 2020). O setor de transportes tem uma contribuição significativa de emissões de gases GEE, sendo assim, um campo relevante para atingir as metas de mitigação dos gases propostas pelo Acordo (Santos, 2014; Eichhorst, 2009).

Com esse recorte temos as capitais: Fortaleza-CE, Salvador-BA, Belém-PA, Manaus-AM, São Luís-MA. Como último recorte, as cidade devem ter os mesmo meios de transporte, ou seja, o meio rodoviário como base de sua mobilidade, uma vez que este é base da mobilidade urbana no país (Ministério das cidades, 2017). Desse modo, o recorte final ficou estabelecido nas seguintes cidades: Belém-PA, Manaus-AM, São Luís-MA.

5.2.

CrITÉRIOS de análise

Com base em uma análise comparativa será possível identificar as tendências e lacunas nos planos com relação à adaptação. Já que esses são os mecanismos de planejamento da mobilidade urbana brasileira, com metas de curto, médio e longo prazo, espera-se que tenha em seu escopo ações consistentes para mitigação e adaptação.

Os critérios de análise foram definidos a partir da revisão de literatura e abordam as questões entendidas como essenciais no processo de adaptação nas cidades, especificamente no setor dos transportes, considerando os eventos extremos decorrentes da mudança climática. A tabela desenvolvida neste trabalho pretende identificar o potencial de contribuição das diretrizes e ações propostas pelos planos de mobilidade para a redução da vulnerabilidade da infraestrutura de transporte e a mobilidade urbana em geral. Desse modo segue os critérios de análise:

- **Ameaça**

Este critério pretende identificar o tipo de risco a que a cidade analisada está submetida, conforme identificado na revisão de literatura, os três principais com potencial de impacto para a mobilidade urbana são precipitação, temperatura e elevação do nível do mar. A partir da identificação do potencial risco será possível determinar as medidas de adaptação mais adequadas para tais riscos.

- **Multiplicidade de ações**

Este critério tem a finalidade de avaliar a variedade das medidas de adaptação presentes nos planos, considerando o tipo, as estratégias e o objeto de intervenção. O tipo representa as respostas de adaptação e determina se as ações surgem como iniciativa reativa ou antecipatória, e se atuam de forma isolada (autônoma) ou em conjunto (planejada) configurando ou não um plano.

As estratégias de adaptação se relacionam com a abordagem que será adotada, podendo ser para proteger ou fortalecer, acomodar (ou manter e gerenciar), recuar ou realocar, ou ainda aumentar a redundância. Essas estratégias podem ser combinadas entre si, ou com as formas de adaptação criando soluções de adaptação capazes de adaptar e mitigar, além de melhorar a qualidade de vida das populações. Como por exemplo, a estratégia de acomodar (ou manutenção e gerenciamento), pode mesclar soluções tecnológicas para o envio de informação

às centrais de monitoramento, ou podem ser combinadas com soluções baseadas na natureza para aumentar as áreas permeáveis ao redor da infraestrutura como forma de proteção.

Nesta categoria a forma de adaptação será subdividida, levando em consideração o contexto do tema da mobilidade urbana, e considerando os três grandes grupos definidos pelo IPCC (2014), e apresentados anteriormente: estrutural/ física, social e institucional.

Os objetos de intervenção correspondem aos elementos ou aspectos do sistema de transporte que serão receptores das ações propostas pelos planos de mobilidade. Isso inclui a infraestrutura tanto de transporte quanto de drenagem, as operações, os veículos, o comportamento dos condutores e passageiros e o uso do solo. Assim como as estratégias, neste caso, quanto mais aspectos do sistema forem alvo de adaptação, mais consistente será o resultado do sistema como um todo.

- Eficácia

Este critério pretende analisar a eficácia das ações de adaptação em conseguir contemplar os componentes da vulnerabilidade. Além de identificar iniciativas para a redução da exposição, a partir das iniciativas propostas nos planos.

- Desempenho

Este critério pretende identificar o desempenho das ações de acordo com sua abrangência, que poderá ser espacial ou operacional. Desse modo, para a abrangência espacial será considerada os atributos “localizados” ou “difusos” nas propostas presentes nos planos. Para a abrangência operacional, serão consideradas as características transformadoras das ações de adaptação, logo os atributos a serem identificados serão “incrementais” ou “transformadoras”, conforme descrição proposta anteriormente.

- Efetividade

Pretende-se com esse critério identificar se as medidas de adaptação já foram implantadas ou estão em processo de implementação, ou se ainda apresentam-se apenas como iniciativas. Além disso, como análise da efetividade, pretende-se avaliar a continuidade dos planos/projetos, através de monitoramento e revisões. É apresentado abaixo conjunto de critérios de análise criados a partir das questões chave para a adaptação nos transportes (consideradas e reformuladas

com base na revisão da literatura), foram agrupados na tabela, e será aplicado a cada plano de mobilidade, para a sistematização e a criação de um panorama geral das opções adotadas. O quadro resumo das categorias segue abaixo:

Ameaça				
Precipitação		Temperatura		Elevação do nível do mar
Multiplicidade de ações				
Tipo				
Antecipatória	Reativa	Autônoma		Planejada
Estratégia				
Proteger (fortalecer)	Acomodar (manter e gerenciar)	Recuar (ou realocar)		Aumentar a redundância
Forma				
Física (eng.,tec,SbN)		Social		Institucional
Objeto				
Infraestrutura	Operações	Veículos	Comportamento	Uso do solo
Eficácia				
Exposição		Sensibilidade		Capacidade adaptativa
Desempenho				
Espacial				
Localizado		Difuso		
Operacional				
Incremental		Transformacional		
Efetividade				
Revisão e monitoramento				

Tabela 3: Categorias de análise

Fonte: autora

6.

Planos analisados

Todas as capitais brasileiras estão dentro dos critérios de exigência para a elaboração dos planos de mobilidade, segundo a PNMU (Lei 12.587/2012). Entretanto muitas delas ainda estão com a elaboração de seus planos pendente. Abaixo a situação de cada capital no processo de elaboração dos planos.

Região	Cidade	F	Situação	Ano	Nº da lei	População
N	Belém	A	Possui	2016	Decreto 86.545/2017	1.499.641
N	Manaus	AM	Possui	2015	Lei 2.074/2015	2.219.580
N	Rio branco	AC	Possui	2009	Lei 392/2015	413.418
N	Boa Vista	RR	Elaborando			419.652
N	Macapá	AP	Elaborando			512.902
N	Palmas	TO	Elaborando			306.296
N	Porto Velho	RO	Elaborando			539.354
NE	Fortaleza	CE	Possui	2015	Sem lei	2.686.612
NE	Salvador	BA	Possui	2018	Lei 9.374/2019; Decreto 29.929/2018	2.886.698
NE	São Luís	MA	Possui	2017	Lei 6.692/17	1.108.975
NE	Teresina	PI	Possui	2008	Sem lei	868.075
NE	Aracaju	SE	Revisando	2012	Sem lei	664.908
NE	João Pessoa	PB	Elaborando			817.511
NE	Natal	RN	Elaborando			890.480
NE	Recife	PE	Elaborando			1.653.461
NE	Maceió	AL	Não possui			1.025.360
CO	Brasília	DF	Possui	2020	Lei 4.566/2011	3.055.149
CO	Campo Grande	MS	Revisando	2009	Decreto 12.681/2015	906.092
CO	Cuiabá	MT	Elaborando			618.124
CO	Goiânia	GO	Elaborando			1.536.097
SE	Belo Horizonte	MG	Possui	2013	Lei 15.317/2013	2.521.564
SE	Rio de Janeiro	RJ	Possui	2019	Decreto 45.781/2019	6.747.815
SE	São Paulo	SP	Possui	2015	Decreto 56.834/2016	12.325.232
SE	Vitória	ES	Possui	2008	Sem lei	365.855
S	Curitiba	PR	Revisando	2006	Sem lei	1.948.626
S	Florianópolis	SC	Revisando	2015	Sem lei	508.826
S	Porto Alegre	RS	Revisando	2015	Sem lei	1.488.252

Tabela 4: Panorama dos PMU das capitais

Fonte: adaptado pela autora (IBGE, 2021)

Os resultados obtidos neste lavamento permitem concluir que 63% das capitais possuem PMU (incluindo as que o estão revisando), que juntas abrigam uma população de mais de 40 milhões de habitantes. Das 17 capitais com PlanMob, 11 delas (64,70%) aprovaram o documento após o ano de 2011, portanto após a publicação da Política Nacional de Mobilidade Urbana. Nessas capitais percebe-se a influência da PNMU na elaboração desses planos, diferentemente das capitais que tiveram seus planos aprovados antes da PNMU. Dentre as capitais, as regiões com mais planos vigentes são a Sudeste e a Sul, ambas com 100%. A cidade de Maceió, capital de Alagoas, é a única que não possui e nem iniciou a elaboração do plano, chama atenção ainda por ser uma cidade com mais de 1 milhão de habitantes.

6.1.

Belém

A capital do estado do Pará está localizada na região norte do Brasil faz parte da Amazônia Oriental, que contribui para que a cidade seja a mais chuvosa do país. É o município mais populoso do Pará e o segundo da região Norte com uma população estimada de 1 506 420 habitantes (IBGE, 2021). A fundação da cidade ocorreu às margens da Baía do Guajará e Rio Guamá, devido a essa localização a cidade é entrecortada por diversos cursos d'água e igapós. Desde o período colonial, a sua ocupação foi orientada por um traçado retilíneo, onde este se sobressaia em relação à topografia do sítio, preferindo-se aterrar a contornar os cursos d' água (Moreira, 1966 apud Rodrigues et al. 2016).

O crescimento urbano do município ocorreu em torno dessas áreas alagadas, e pode ter contribuído para a grande quantidade de ocupação irregular presente na cidade. Em termos gerais, essas ocupações são caracterizadas por um padrão urbanístico desregulado e pela carência de serviços públicos essenciais. O percentual de aglomerados subnormais, como são denominas essas ocupação, é expressivo na cidade, são mais de 750 mil pessoas vivendo nessas condições. Ao dividir a população residente em aglomerados subnormais pela população total do município, chega-se à razão de 0,54. Em comparação com as quinze cidades mais populosas do Brasil, percebe-se que Belém está bem à frente das demais cidade, seguida por Salvador com razão de 0,33, Recife e São Luís com razão de 0,23 e

Rio de Janeiro com razão com razão de 0,22, assim, sucessivamente (IBGE, 2010).

Conforme argumentado no decorrer deste trabalho, apesar da mudança climática afetarem a todos, a abrangência e intensidade dos impactos dependerá da vulnerabilidade existente. Nos espaços urbanos, como Belém, quem mais sofre é a população com menor acesso a recursos financeiros e moradias de qualidade. Em Belém, essa população vive nas chamadas “baixadas” áreas de baixa altitude, próxima a córregos, mais suscetíveis aos alagamentos (Rodrigues et al. 2016). As características físicas e naturais da cidade favorecem aos alagamentos e enchentes, assim como sua hidrografia, a exemplo da Bacia do Una e da Bacia do Tucunduba, que cortam uma quantidade significativa de bairros da cidade. Entretanto os eventos de alagamentos não se justificam apenas pelos aspectos naturais, esses acontecimentos estão intrinsecamente ligados ao processo de formação sócio-espacial da cidade, marcado pela segregação e exclusão, onde as populações que não tinham acesso às áreas centrais acabaram ocupando as baixadas (Farias, 2012). Adicionados a esses fatores, a cidade tem elevados índices pluviométricos durante todo o ano, com média anual de 3000 mm, com variação de 300mm a 450mm, sendo a capital mais chuvosa do país (Sodré; Rodrigues 2013). Esses fenômenos tradicionalmente causam grandes perdas, que podem ser exacerbadas com a ameaça dos impactos provocados pela mudança climática. As previsões indicam que a região Norte do país, incluindo a cidade de Belém, terá uma ampliação dos níveis de precipitação em um cenário pessimista de emissões (ITDP, 2017). O mapa abaixo mostra a projeção de áreas que serão inundadas em Belém com o aumento do nível do mar para o ano de 2050.

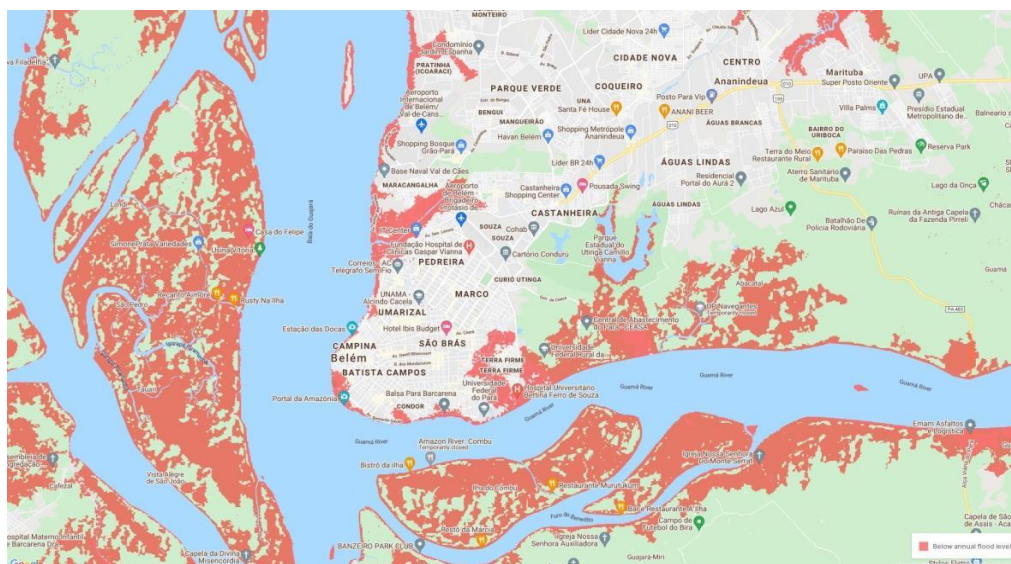


Figura 10: Projeção de alagamento em Belém em 2050

Fonte: Climate central, 2022

O primeiro plano de mobilidade de Belém foi elaborado em 2016, com a colaboração da população, por meio de audiências públicas, a assistência da WRI Brasil Cidades Sustentáveis² e técnicos da SEMOB - Superintendência Executiva de Mobilidade Urbana de Belém. Este objetiva a normatização do transporte coletivo e individual, além de intervenções físicas e operacionais que colaborem para a efetivação de políticas públicas, alinhadas ao Plano Diretor do Município de Belém (Belém, 2016, p.11).

No diagnóstico apresentado pelo plano, um dos principais problemas identificados está à falta de integração do planejamento entre as diferentes esferas administrativas, o que leva a problemas estruturais da oferta de transporte, como: sobreposição de linhas; concorrência entre empresas; falta de integração física, tecnológica e tarifária; aumento dos tempos de deslocamentos; baixa confiabilidade, entre outros. Fatores que contribuem para a redução da eficiência dos sistemas de transporte e comprometem o nível de mobilidade da população (Belém, 2016)

O PlanMob (Plano de Mobilidade Urbana) de Belém trabalha com 2 temas centrais: a mobilidade urbana e o trânsito. Para o trânsito, se tem como base as

² O WRI Brasil Cidades Sustentáveis é um instituto de pesquisa que trabalha para promover a proteção do meio ambiente, oportunidades econômicas e bem-estar humano. Atua no estudos e implementação de soluções sustentáveis em clima, florestas e cidades. Alia excelência técnica à articulação política, em parceria com governos, empresas, academia e sociedade civil. Faz parte do WRI (World Resources Institute), organização internacional, presente em mais de 50 países, com escritórios no Brasil, China, Estados Unidos, Europa, Índia e Indonésia.

soluções de engenharia, educação e fiscalização. Estas abrangem entre outras medidas: pavimentação de vias assim como áreas de interesse social com adensamento populacional e infraestrutura deficiente; sistemas de informações e comunicação com os usuários; sistema de gerenciamento da base de dados, programas de educação dos usuários e de capacitação do pessoal de gestão e dos prestadores de serviço. Entretanto, é evidente que a maioria das ações apresentadas está relacionada ao sistema Bus Rapid Transit (BRT), em implantação desde o ano de 2012. O seu funcionamento total teve início em 2019, e atualmente conta com 4 linhas e 33 estações.

A tabela apresentada no capítulo anterior será utilizada para a análise das diretrizes e ações propostas no plano, para se identificar o nível de contribuição do mesmo para a redução da vulnerabilidade do sistema de transporte de Belém frente à mudança climática. Dessa forma, o procedimento consistirá em atribuir às diretrizes e ações presentes no plano, as categorias apresentadas no capítulo anterior, conforme a tabela abaixo.

Ameaça					
Precipitação		Temperatura		Elevação do nível do mar	
x				x	
Multiplicidade de ações					
Tipo					
Antecipatória	Reativa		Autônoma	Planejada	
x			x		
Estratégia					
Proteger (fortalecer)	Acomodar (manter e gerenciar)		Recuar (ou realocar)	Aumentar a redundância	
	x			x	
Forma					
Física (eng.,tec,SbN)		Social		Institucional	
x		x			
Objeto					
Infraestrutura	Operações		Veículos	Comportamento	Uso do solo
x				x	x
Eficácia					
Exposição		Sensibilidade		Capacidade adaptativa	
		x			
Desempenho					
Espacial					
Localizado			Difuso		
x					
Operacional					
Incremental			Transformacional		
x					

Efetividade
Revisão e monitoramento
x

Tabela 5: Categorias de adaptação de Belém Fonte: autora

6.2.

Manaus

A capital do estado do Amazonas é o principal centro financeiro, corporativo e mercantil da Região Norte do Brasil. A fundação da cidade ocorreu em 24 de outubro de 1669, em torno do forte de São José do Rio Negro na sua confluência com o Rio Solimões onde forma o Rio Amazonas. É a capital mais populosa do estado, com população estimada de 2.255.903 habitantes em 2021, é a sétima cidade mais populosa do Brasil, (IBGE, 2021). É a cidade de maior influência da Amazônia Ocidental, onde exerce um impacto significativo sobre o comércio, educação, finanças, indústria, mídia, pesquisas, tecnologia e entretenimento de toda a região. **O município possui o sexto maior PIB do Brasil, representando 1,1% de todo o PIB nacional em 2019.** Além de ser a terceira cidade mais empreendedora do país, segundo o Ranking Connected Smart Cities de 2021, ficando à frente de Brasília, e de capitais como São Paulo e Porto Alegre.

O período em que a cidade vivenciou o auge do ciclo da borracha, a cidade experimentou o primeiro fluxo migratório, com crescimento exponencial da população (Andes, 2016). Com a criação da Zona Franca de Manaus (distrito industrial), em 28 de fevereiro de 1967, teve início o segundo grande fluxo migratório. Este impulsionou o processo de urbanização da cidade, entretanto, praticamente sem planejamento, a cidade tornou-se uma metrópole. Após o decreto que institui a zona franca, a cidade elaborou o Plano Diretor que tinha por objetivo “disciplinar o crescimento da capital amazonense por vários decênios, criando uma cidade ecológica, harmoniosa e funcional no trópico” (Corrêa, 1969, p. 56 apud Andes, 2016).

O crescimento populacional acelerado da cidade, a partir da década de 1980, provocou a expansão indiscriminada da ocupação urbana, com várias externalidades negativas para a cidade, como degradação de áreas ambientalmente frágeis e impróprias para moradia. Manaus tem características de ocupação urbana similares às de Belém, devido a sua localização, e a forte presença dos rios e

igarapés, que entrecortam a cidade com cursos d'água. Assim como Belém, a cidade de Manaus também tem uma elevada porcentagem de aglomerados subnormais, na análise de Bitoun (2009) “quase todos os bairros de Manaus estão sujeitos a riscos ambientais decorrentes da falta de infraestrutura de saneamento” (p. 122). Mais da metade dos domicílios existentes em Manaus estão em aglomerados subnormais, o equivalente a 53,3%, segundo levantamento do IBGE (2021).

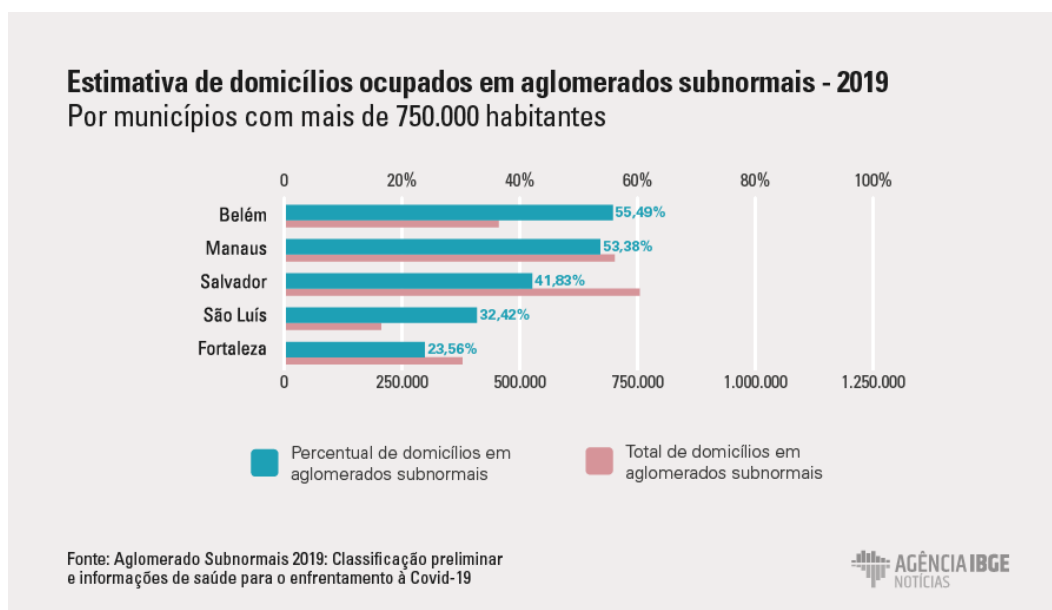


Figura 11: Aglomerados subnormais no Brasil

Fonte: IBGE, 2019

Esse quadro agrava-se com as previsões de alterações climáticas para a região. As pesquisas indicam que Manaus e a região metropolitana poderão apresentar elevação acima dos 4°C para os próximos 25 anos, para o Sul do estado, o aumento poderá ser de 5°C, com destaque para os municípios de Lábrea e Boca do Acre. Considerando o cenário pessimista de emissões, no horizonte de médio e longo prazo, a região metropolitana de Manaus poderá ter um incremento de 200 a 250 dias com temperatura acima dos 30° Celsius, em relação a média de 1965 e 1990 (ITDP, 2017). O Amazonas é o estado com o maior número de pessoas deslocadas em decorrência de fenômenos naturais desde o ano 2000, seguido por Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Instituto Igarapé, 2018). A cidade de Manaus é a 6ª cidade com maior número de desabrigados e desalojados por desastres naturais do país: 59.756, dos quais 81% vítimas de enchentes. Em 2021, impulsionado pela mudança climática, o rio Negro registrou cheia histórica, a maior cota em 119 anos. Os eventos que deveriam ocorrer a cada 50 anos, agora

acontecem em intervalo de tempo bem menor, como a grande cheia em 2009, logo superada pela de 2012. Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - IMPA, no Amazonas a frequência das grandes enchentes está aumentando, assim como as grandes vazantes, fato atribuído ao aquecimento global (Maisonave, 2021). Considerando esses eventos e as características socioeconômicas do estado o ITDP (2015) criou o Índice de Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas na Mobilidade Urbana (IVMU), segundo o qual, o estado do Amazonas está entre os estados com maior proporção de municípios com vulnerabilidade considerada superior.

Em 2015 foi aprovado o plano de mobilidade da cidade, atendendo a determinação da PNMU, e o estatuto da cidade. O Plano contém diretrizes para o transporte motorizado, não motorizado e para o sistema de transporte coletivo e prevê ainda a implantação do BRT (Bus Rapid Transit). Assim o plano propõe intervenções tanto no sistema viário, com a abertura de novas vias, e a complementação e a comunicação entre outras existentes. Almeja também a reestruturação do transporte coletivo, com a implantação de novos equipamentos urbanos e terminais de integração. Há também diretrizes para a recuperação de calçadas e implantação da malha cicloviária para a inclusão da bicicleta como alternativa de transporte para médias e curtas distâncias, idealizando a construção de 190 km de ciclofaixas. O PlanMob de Manaus definiu ainda o BRT como principal meio de transporte público da cidade, que tem a meta de reduzir em 15% o custo estimado do setor para os próximos 20 anos (Manaus, 2015).

Para melhorar a integração das linhas o planMob de Manaus propõe a construção de novos terminais e estações de conexão do BRT, estrategicamente distribuídos com objetivo de reduzir o fluxo de linhas de ônibus que passa pela região central. Mas cabe ressaltar que a cidade conta com sistema de bilhetagem eletrônica, que permite a integração temporal. Ou seja, o usuário portador do cartão inteligente pode realizar baldeação dentro de um determinado período de tempo, o que reduz os deslocamentos desnecessários (Manaus, 2015)

Ameaça			
Precipitação		Temperatura	Elevação do nível do mar
x		x	
Multiplicidade de ações			
Tipo			
Antecipatória	Reativa	Autônoma	Planejada
x		x	

Estratégia				
Proteger (fortalecer)	Acomodar (manter e gerenciar)	Recuar (ou realocar)	Aumentar a redundância	
	x		x	
Forma				
Física (eng.,tec,SbN)	Social		Institucional	
x	x			
Objeto				
Infraestrutura	Operações	Veículos	Comportamento	Uso do solo
x			x	x
Eficácia				
Exposição	Sensibilidade		Capacidade adaptativa	
	x		x	
Desempenho				
Espacial				
Localizado		Difuso		
		x		
Operacional				
Incremental		Transformacional		
x				
Efetividade				
Revisão e monitoramento				
x				

Tabela 6: Categorias de adaptação de Manaus

Fonte: autora

6.3.

São Luís

A capital do estado do Maranhão está localizada no nordeste do Brasil, faz parte do Arquipélago do Golfão Maranhense, juntamente com outros três municípios: Paço do Lumiar, Raposa e São José de Ribamar. São Luís ocupa uma área de 583,063 km² e tem população estimada de 1.115.932 de habitantes, resultando numa densidade demográfica de 1.215,69 hab./km² (IBGE, 2021). A conexão da cidade com o interior e demais estados é realizada por meio de pontes sobre o canal estreito dos Mosquitos. Com relação à economia, esta se baseia na indústria de transformação de alumínio, alimentícia, turismo e nos serviços. A distribuição setorial em 2018 é definida: agropecuária - 0,1%, indústria -27,4% e serviços -72,5% (IMESC, 2020).

A cidade foi fundada no início do século XVII, a ocupação ficou restrita ao núcleo original até início do século XX. A partir da década de 1940, aconteceu a primeira expansão para além do centro histórico, a partir da implantação dos bondes elétricos (Barros, 2019). Esta rompe com o traçado original do antigo núcleo urbano e surge o primeiro corredor de expansão da cidade. Desde então, a ampliação da infraestrutura viária avança e surgem novos bairros a partir da construção de novas pontes. Essa expansão, em termos gerais, reflete uma intensa segregação socioespacial, com origens no zoneamento proposto pelo Plano de Ruy Mesquita: o norte da ilha, próximo às praias, foi ocupado pelos mais ricos e explorado pelo mercado imobiliário de alto padrão; os mais pobres ficaram perto da região portuária mais afastada do centro, na parte oeste da ilha; e a população de classe média ficou na região central, próxima a cidade existente, com bairros que usufruem de uma aceitável infraestrutura, mobilidade e acesso a serviços. (Wall, 2017; Barros, 2019).

Essa descentralização continuou nas décadas seguintes e contribui para os extensivos deslocamentos diários da população, assim como ampliação das desigualdades sociais. Esse modelo de urbanização ainda persiste, Marluce Wall destaca que “Desde então, a lógica de produção do novo espaço urbano foi orientada e dominada por uma moderna rede de avenidas de alta velocidade, as novas áreas residenciais distribuídas dispersamente ao longo desta intensa rede viária” (Wall, 2017, pag. 4). A forma de ocupação urbana na cidade de São Luís, deixou como consequência a degradação de áreas ambientalmente frágeis,

segregação e desigualdades sociais, onde a população mais vulnerável encontra as maiores dificuldades para se inserir nas atividades cotidianas da cidade (Leite; Medeiros, 2021).

Com relação às previsões climáticas para a cidade, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE, prevê que por volta de 2040, a capital maranhense poderá registrar temperaturas até 3,1°C mais elevadas. Em relação às chuvas, as projeções para o período de 2041 a 2070, indicam que São Luís poderá ter uma redução de 30% do volume de precipitações. Mesmo com essa redução o volume de chuva atual em torno de 2200mm anuais, tem potencial de causar interferências no cotidiano da cidade. Pesquisa do instituto Climate Central, mostra como a cidade poderá ser afetada pela elevação do nível do mar, se o aquecimento global não ficar limitado ao proposto pelo acordo de Paris em 1,5°. No cenário abaixo, mostra a previsão de inundação em decorrência da elevação do nível do mar, caso os países não consigam atingir as metas de limitação das emissões. Na figura 12 apresenta-se a previsão de inundação para a cidade de São Luís, em um cenário de aquecimento global acima de 1,5°.

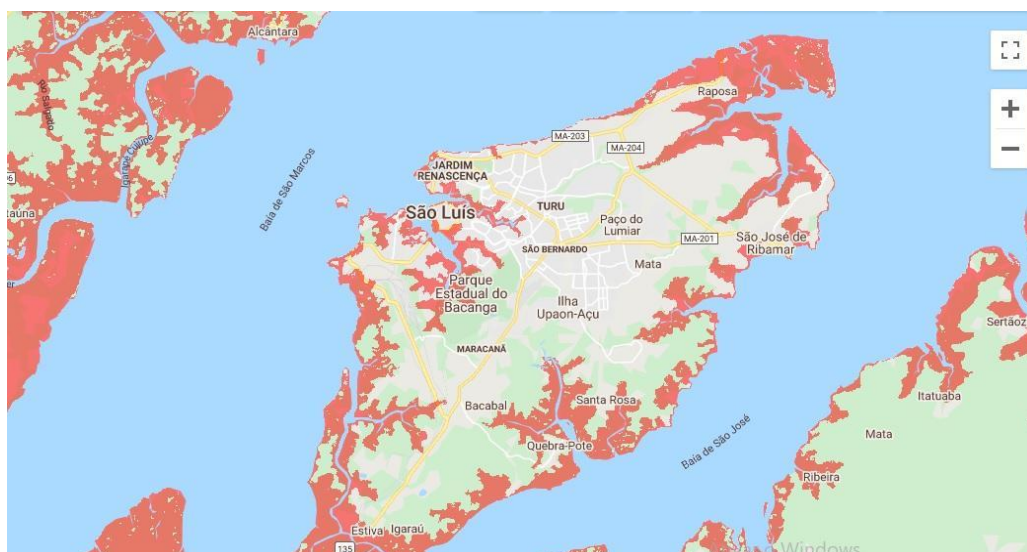


Figura 12: Projeção de alagamento em São Luís

Fonte: Climate Central, 2022

Diante desse cenário, as dificuldades de mobilidade da população da cidade podem ser amplificadas, principalmente para a população que depende exclusivamente do transporte público. A cidade dispõe de sistema de transporte público interligado por terminais rodoviários além do sistema de bilhetagem eletrônica que permite a troca de linhas de ônibus no mesmo sentido e por intervalos de 90 minutos sem pagar valor adicional, mas sem abranger os outros

três municípios da região metropolitana (SMTT, 2019). Os terminais permitem embarque e desembarque em local fechado por meio de integração física e tarifária. As linhas de ônibus não são conectadas a rede cicloviária, esta é praticamente inexistente. A rede cicloviária é a segunda menor do país, com apenas 18 km de extensão. É voltada principalmente para atividades físicas e lazer. Há carência de sinalização e estacionamento para as bicicletas (Sistran Engenharia, 2016 apud Silva e Teles, 2020).

Como argumentado anteriormente, a vulnerabilidade socioclimática não é a mesma para todos na cidade, essa depende da exposição e da capacidade adaptativa de cada grupo. Desse modo os grupos mais vulneráveis geralmente residem nas áreas mais afastadas do centro, com menos oferta de transporte coletivo, o que os torna mais vulneráveis a quaisquer ameaças climáticas.

Ameaça				
Precipitação		Temperatura		Elevação do nível do mar
		x		x
Multiplicidade de ações				
Tipo				
Antecipatória	Reativa		Autônoma	Planejada
x			x	
Estratégia				
Proteger (fortalecer)	Acomodar (manter e gerenciar)		Recuar (ou realocar)	Aumentar a redundância
	x			x
Forma				
Física (eng.,tec,SbN)	Social		Institucional	
x	x		x	
Objeto				
Infraestrutura	Operações	Veículos	Comportamento	Uso do solo
x	x	x		
Eficácia				
Exposição		Sensibilidade	Capacidade adaptativa	
		x	x	
Desempenho				
Espacial				
Localizado		Difuso		
		x		
Operacional				
Incremental		Transformacional		
x				
Efetividade				
Revisão e monitoramento				
x				

Tabela 7: Categorias de adaptação São Luís

Fonte: elaboração própria

7.

Resultados

Com relação à ameaça a que a cada cidade está exposta, a precipitação é fator de preocupação nas três cidades analisadas, em virtude do potencial de impacto que os alagamentos representam para a mobilidade urbana. Dentre as cidades analisadas destaque-se a cidade de Belém que registra o maior volume de chuva do país. Ainda que as previsões indiquem uma redução no volume médio de chuvas em algumas regiões analisadas, este ainda acarretará desafios para a mobilidade. Belém e São Luís são cidades costeiras suscetíveis à elevação do nível do mar e inundações temporárias provocadas pela elevação da maré, o que provoca grandes transtornos nestas cidades. Os municípios de Manaus e São Luís estão fortemente suscetíveis à elevação de temperatura, com consequências para usuários e operações de transporte. Os ônibus devem se adaptar por meio de sistema de refrigeração, para manter a competitividade em relação ao uso do automóvel particular.

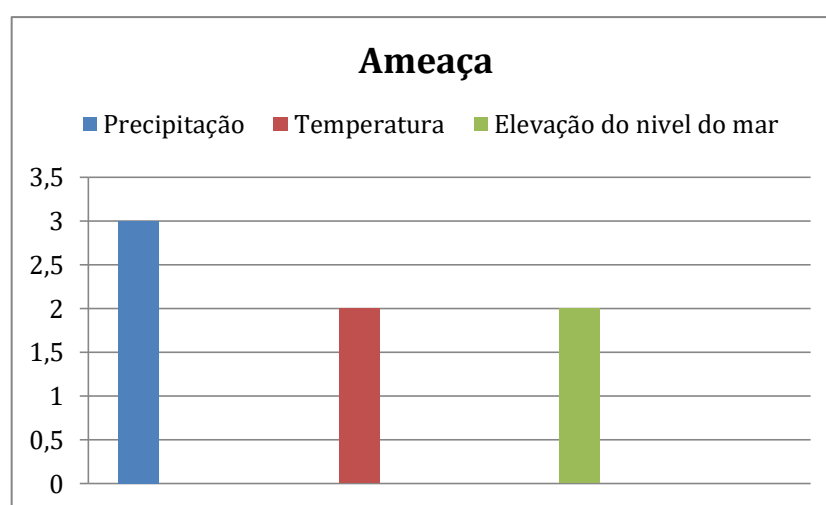


Figura 13: Ameaças nas cidades analisadas

Fonte: elaboração própria

No critério multiplicidade de ações, a análise foi dividida entre tipo, estratégia, forma e objeto de adaptação. Sobre o tipo de adaptação utilizada nos planos, tem-se o tipo autônomo e planejado. Considerando que os planos não tratam especificamente do tema de mudança climática, as ações previstas nestes somente podem ser consideradas autônomas, ou seja, realizadas para outras finalidades e eventualmente podem contribuir para a redução da vulnerabilidade

do sistema à mudança climática. Como por exemplo, a implantação do centro de controle operacional do transporte coletivo proposto no planmob de São Luís. Apesar de não estar direcionado para as questões climáticas, pode ser utilizado como sistema de alerta durante ocasionais eventos climáticos. Considerando o tipo, as ações também foram consideradas antecipatórias, uma vez que essas ações estão propostas em um plano, que naturalmente por sua definição, significa que equivale a ações planejadas.

Percebe-se a predominância da estratégia de acomodação, com a manutenção e gerenciamento do sistema de transporte, além da ampliação da redundância, fundamental durante eventos extremos. Com relação à forma, há o predomínio da física, relacionado às soluções de engenharia para melhoramento viário e as soluções tecnológicas para melhorar a parte operacional dos sistemas. A cidade de Manaus que determina em plano a necessidade de arborização para melhorar a caminhabilidade e incentivar o uso da bicicleta, sendo essa considerada uma solução baseada em ecossistemas SbN, como forma de adaptação. Neste caso, fundamental para as previsões de elevação de temperatura da cidade de Manaus. A subcategoria social, também está presente nos 3 planos, a partir de campanhas educativas para melhorar o convívio no trânsito. Chama atenção o plano de Belém, que considera explicitamente o transporte como fator de inclusão social, sendo este relevante para diminuir as desigualdades sociais no deslocamento urbano. Mas a forma institucional não é tão presente na cidade de Belém em comparação com as de Manaus e São Luís. Com relação ao objeto de adaptação, a infraestrutura é a mais mencionada, onde se propõe melhorias estruturais para a circulação de veículos e ônibus nas três cidades. Todos os três planos preveem ações associadas com o uso do solo, para melhorar o planejamento das funções urbanas. Manaus e São Luís mencionam ações voltadas para pesquisas a fim de melhorar as tecnologias veiculares, por isso foram consideradas que os veículos são objeto de intervenção nessas cidades. A única cidade que teve como objeto de intervenção operações foi São Luís, nesta há citação em mais de uma ocasião, sobre as melhorias do sistema operacional.

Sobre a categoria de eficácia, nenhum plano atua sobre a exposição, mas todos têm ações que contribui para reduzir a sensibilidade, já que as ações propostas atuam diretamente sobre as infraestruturas. A cidade de Belém

apresentou ações inconsistentes para ser considerada como fator relevante para interferir na capacidade adaptativa, assim não foi considerada na tabela.

Com relação a categoria de desempenho, esta foi subdividida em espacial e operacional. Onde a primeira poderia ser classificada como localizada ou difusa e a segunda como incremental e transformacional. Todas as três cidades propõem medidas que mantêm a essência do sistema de transporte atual, ou seja, de base rodoviária, apenas dispõe de mecanismos para melhorar esse sistema, assim todos os três planos foram considerados do tipo incremental. Em relação à subdivisão espacial, Belém foi considerada na categoria localizado, pois as ações previstas apresentam-se com pouca consistência, sendo ainda, esta a única cidade que não apresenta as previsões de investimentos para a execução das ações propostas. Em virtude da forma de apresentação das propostas, da consistência e da perspectiva de investimentos, as cidades de Manaus e São Luís, foram consideradas com medidas difusas.

Com relação à categoria de efetividade, todos os planos foram considerados que apresentam instrumentos para satisfazer essa categoria. Uma vez que apresentam previsão de instrumentos de monitoramento, e estabelecem a revisão do plano a cada 10 anos.

Em Belém os efeitos do Planmob ainda não puderam ser sentidos, o plano tem inúmeros desafios a serem enfrentados desde sua concepção, com prazos de integração entre modos e serviços de transportes até a constituição de uma equipe técnica local para realizar cada etapa. O plano não traz menção à mudança climática ou ao aquecimento global, apenas incentiva o desenvolvimento científico-tecnológico e o uso de energias renováveis para reduzir as poluições, dentre elas, as emissões atmosféricas.

Diferentemente de Manaus que não apresenta em seu plano a redução de emissões como diretriz estrutural, apesar de as medidas de integração contribuírem para a redução das emissões de gases GEE uma vez que reduz os deslocamentos desnecessários e a demanda por viagem. Ainda que disponha de um amplo prognóstico sobre as tendências das emissões na cidade. Reduzir as emissões deveria ser um dos objetivos estruturais do plano, conforme apontam Machado e Piccinini (2018), ainda mais no contexto da mudança climática.

No plano de mobilidade de São Luís existe a como meta o controle das emissões GEE, inclusive explicitamente em seu programa de necessidade com a

proposição de elaboração de inventário de emissões de poluentes para facilitar o monitoramento do impacto de medidas de redução da poluição urbana. Mas assim como as outras duas, não há menção especificamente com relação à mudança climática.

8.

Considerações finais

Este trabalho representa uma pesquisa original que foge das tradicionais investigações sobre mitigação de emissões no setor dos transportes, mais ainda ao focar em capitais diferentes do eixo Rio de Janeiro e São Paulo. Ao analisar especificamente a vulnerabilidade do sistema de transporte frente à mudança climática, este contribui para a discussão sobre a incorporação da noção de risco, vulnerabilidade e adaptação nas políticas de planejamento da mobilidade urbana no Brasil. Uma vez que ficou evidente a escassez de material referencial que trate sobre a adaptação dos sistemas de transporte para a resiliência urbana no contexto da mudança climática. Sistema que é profundamente sensível às ameaças e variações climáticas que podem se intensificar com as alterações climáticas previstas.

As alterações nos padrões meteorológicos afetam diretamente as infraestruturas de transporte, que tem função estratégica no gerenciamento de emergências. Os sistemas de transporte são essenciais para uma resposta eficaz a desastres, por exemplo, onde as populações precisam ser evacuadas antes de uma tempestade se aproximar ou onde serviços de emergência são necessários, e sua vulnerabilidade a ameaças naturais expõe a população a riscos. A infraestrutura precisará ser construída para resistir às temperaturas mais elevadas, tempestades mais frequentes e intensas. Veículos precisarão ser adaptados para funcionar bem em condições de clima extremo. O sistema precisa garantir também a acessibilidade das pessoas mais vulneráveis de baixa renda, que podem ser profundamente afetadas durante e após eventos climáticos extremos que danificam as ligações críticas de transporte público, impedem o acesso ao trabalho e aumentam a exposição a riscos à saúde. Entretanto as respostas políticas à mudança climática para o setor de transportes foram dominadas pelas ações mitigadoras que apesar de limitarem o aquecimento global, elas não impedirão ou reverterão a situação atual em curto e médio prazos. De modo que a adaptação deve ser priorizada com a mesma relevância da mitigação.

O funcionamento das cidades depende de uma série de sistemas de infraestrutura que permitem a realização das atividades cotidianas. Os estresses climáticos em quaisquer desses sistemas podem levar a um efeito cascata, devido

à interdependência dessas infraestruturas, como os setores de água, saneamento, energia e transporte. Por exemplo, os eventos climáticos extremos de precipitação, podem provocar danos na distribuição de energia. Isso pode provocar impactos na mobilidade urbana devido a panes em metrô, trens e semáforos. Também resulta frequentemente em bloqueio das vias urbanas, perdas materiais e humanas, além de outros transtornos, caso o sistema de drenagem não funcione adequadamente. As temperaturas mais elevadas geram problemas nos veículos com o superaquecimento dos mesmos gerando panes e impedindo a locomoção da população. Esses custos sociais e econômicos devem ser levados em consideração, ao se pensar em planejamento de sistemas de transporte e infraestruturas resilientes.

O planejamento das medidas adaptativas precisam ser abrangentes e flexíveis, para incorporar as variáveis inerentes ao contexto de mudança climática. Quando os planos nacionais intersetoriais de adaptação às mudanças climáticas forem desenvolvidos, atenção adequada deve ser dada à integração de instrumentos relacionados à infraestrutura, política e economia, assim como mudanças de comportamento e nas estratégias de desenvolvimento nacionais. As soluções de adaptação devem considerar o potencial de transformação oferecido pela infraestrutura natural (SbN) e física (construída) com programas que prevejam incentivos e sanções.

Soluções para a mobilidade desafiam as políticas públicas, uma vez que mais de 80% da população mundial vivendo em cidades, com expectativa de crescimento. No Brasil, onde muitas cidades ainda estão elaborando seus planos de mobilidade urbana, outras farão a revisão dos mesmos nos próximos anos. A incorporação das estratégias de adaptação para o setor de transporte representa uma janela de oportunidade para o enfrentamento das ameaças climáticas. Em se tratando de transportes, as infraestruturas são de longa duração, de alto custo e precisam de um planejamento prévio e tempo de execução, assim as medidas de adaptação precisam ser incorporadas com certo tempo de antecedência para a sua efetividade.

Os instrumentos de gestão presentes na PNMU como o desestímulo ao transporte motorizado individual e o controle das emissões de poluentes, podem ser utilizados pelo poder público para promover a mitigação de gases GEE,

melhorar a acessibilidade na mobilidade além de promover equidade no acesso ao espaço público.

O plano da cidade de Manaus apresenta-se mais completo e consistente nas proposições de iniciativas para o melhoramento da mobilidade urbana da cidade. Inclusive este apresenta um amplo levantamento sobre as emissões de gases do efeito estufa do setor de transportes, com a perspectiva de emissões para os próximos 20 anos. Seguido pelo plano de São Luís, que também apresenta um diagnóstico e prognóstico bem completo, ambos apresentando também a estimativa necessária de investimentos para a execução das medidas propostas. Diferentemente do plano de Belém, que não apresenta essas informações e se configura como um plano demasiadamente básico, com diretrizes gerais, além de não apresentar as estimativas de investimentos.

9.

Referências Bibliográficas

ANDES, P. **Entre à Paris dos trópicos à Miami brasileira: As imagens da cidade de Manaus durante a estagnação econômica.** 2016. Revista Escritas, 7(2), 230-252. <https://doi.org/10.20873/vol7n2pp230-252>.

APOLLARO, C; ALVIM, A. **Estratégias e desafios do planejamento urbano para a adaptação de cidades frente à mudança climática.** Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade, v. 13, n. 6, 2017.

BARRETTO, M; GISLON, M. **O flâneur revisitado: processos de revitalização urbana e caminhabilidade.** Revista Hospitalidade. São Paulo, v. X, n. 1, p. 54 - 77, jun. 2013.

BELÉM. **Plano Diretor do município de Belém.** Lei n. 8.655/08. Belém: Diário Oficial do Município, 2008.

_____. **Plano de Mobilidade do Município de Belém.** Lei n. 9198/01. Belém: Diário Oficial do Município, 2016.

BINATI, C. R. A, **Mudança climática e recursos hídricos: desafios e contribuições dos planos diretores dos municípios da bacia hidrográfica Billings na região metropolitana de São Paulo.** 2017. 308 f. Dissertação. (Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo.

BITOUN, J. **“Tipologia das cidades brasileiras e políticas territoriais: pistas para reflexão”.** In: BITOUN, J. e MIRANDA, L. (orgs.) **Desenvolvimento e cidades: contribuições para o debate sobre as políticas de desenvolvimento territorial.** 2009. Rio de Janeiro, FASE e Observatório das Metrópoles.

BIAGINI, B.; R. BIERBAUM; M. STULTS; S. DOBARDZIC; MCNEELEY S. M. 2014. **A typology of adaptation actions: A global look at climate adaptation actions financed through the Global Environment Facility.** Glob. Environ. Chang., doi:10.1016/j.gloenvcha.2014.01.003. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959378014000065>

BARROS, L. F. **Bordando a história urbana de São Luís do Maranhão nos séculos XIX e XX.** - Anais XVIII ENANPUR, 2019. Disponível em: <http://anpur.org.br/xviiienanpur/anais>.

CASTRO, C.M; PEIXOTO, M.O.; RIO, G. A. **Riscos ambientais e geografia: conceituações, abordagens e escalas.** (Environmental risks and geography: concepts, approaches and scales). In: Anuário do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ, 2005, 28(2), 11-30.

CALDEIRA, G. P.; BASTOS, J. T. **Planos de mobilidade urbana e a segurança viária: uma análise das capitais brasileiras**. 32º ANPET. Gramado – RS, 2018.

DANTAS, C. **Mudanças recentes no clima causadas pelo homem não têm precedentes, aponta relatório da ONU**. G1. 09 agosto de 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/natureza/aquecimento-global/noticia/2021/08/09/influencia-humana-e-responsavel-por-alta-de-107c-na-temperatura-global-estima-relatorio-do-ipcc-orgao-da-onu.ghtml>. Acesso em: 06 de outubro de 2021.

DECASTRO, J.; BALASSIANO, R. **Planos de Mobilidade Corporativa: Instrumento de Gestão da Mobilidade Urbana**. 2015.

ESPÍNDOLA, I. B; RIBEIRO, W. C. **Cidades e mudanças climáticas: desafios para os planos diretores municipais brasileiros**. Cadernos Metrópole [online]. 2020, v. 22, n. 48 [Acessado 5 Outubro 2021] , p. 365-396. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/2236-9996.2020-4802>>.

EISENACK, K.; Stecker R.; Reckien D.; Hoffmann E. **Adaptation to climate change in the transport sector: a review of actions and actors**. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, v. 17, n. 5, p. 451-469, 2012.

EICHHORST, U; **Adapting Urban Transport to Climate Chance**. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), 2009.

EEA, E. E. **Adaptation of transport to climate change in Europe: Challenges and options across transport modes and stakeholders**. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2014.

FARIAS, G. B. L. **Cidades, vulnerabilidade e adaptação às mudanças climáticas: um estudo na Região Metropolitana de Belém**. 2012. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Pará. Núcleo de Altos Estudos Amazônicos. Belém-PA.

FARIAS, A. R.; MINGOTI, R.; VALLE, L. B.; SPADOTTO, C. A.; LOVISI FILHO, E. **Identificação, mapeamento e quantificação das áreas urbanas do Brasil**. Gestão Territorial: Campinas, 2017.

FAO, 2019. **Food and Agriculture Organisation** (2019) FAO Framework for the Urban Food Agenda. Rome: FAO.

FERREIRA, Diogo. P; P.; FILHO, R. ; D.; TRIDELLO, V. **Social exclusion through mass transit systems: a comprehensive assessment of São Luís' buses-network**. A: Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo. "X Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo, Barcelona-Córdoba, Junio 2018". Barcelona: DUOT, 2018

FOLKE, C. **Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses**. Global environmental change, v. 16, n. 3, p. 253-267, 2006.

JACOBS, J. **Morte e Vida de Grandes Cidades**. 3. ed. São Paulo: Editora WMF Martins Fontes, 2011. 510 p

HAMMER, S.A.; MEHROTRA, S.; ROSENZWEIG, C.; SOLECKI, W. **Climate Change and Cities. First Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network**. Cambridge University Press, 2011.

HENRICH, J. A; MEZA, M. L. **Governança multinível para o desenvolvimento regional: um estudo de caso do Consórcio Intermunicipal da Fronteira**. Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana [online]. 2017, v. 9, n. 1 [Acessado 12 Outubro 2021], pp. 124-138. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/2175-3369.009.001.AO03>>.

IPCC. (2014). **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects**. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp.: Cambridge University Press, Cambridge. NO TEXTO TEM IPCC 2007

IBGE, 2021. **Cidades**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ma/sao-luis.html>. Acesso em: 27 junho de 2021.

KNEIB, E. C. **Mobilidade urbana e qualidade de vida: do panorama geral ao caso de Goiânia**; Revista UFG; ANOXIII, Nº 12, julho, 2012.

LA ROVERE, E. L.; DE SOUZA, D. DA S. **Adaptação às Mudanças do Clima: Infraestrutura de Transporte**. Brasil 2040: cenários e alternativas de adaptação à mudança do clima. Relatório Parcial de Projeto, no Produto 4. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2015

LEMO, M. F. **Adaptação de cidades para mudança climática: uma metodologia de análise para os planos diretores municipais**. 2010. 284f. Tese de doutorado – PROURB/ FAU, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

LE, T.D.N. **Climate change adaptation in coastal cities of developing countries: characterizing types of vulnerability and adaptation options**. Mitig Adapt Strateg Glob Change 25, 739–761, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11027-019-09888-z>

LOVE, G.; SOARES, A.; PÜEMPEL, H. **Climate change, climate variability and transportation**. Procedia Environmental Sciences, v. 1, p. 130-145, 2010.

LEITE, A.; MEDEIROS, V. **Vulnerabilidade e configuração em São Luís (Maranhão): as relações espaciais e seu efeito no deslocamento das populações urbanas.** PLURIS 2021 DIGITAL, 2021.

MACHADO, L.; PICCININI, L. S. **Os desafios para a efetividade da implementação dos planos de mobilidade urbana: uma revisão sistemática.** Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 10, p. 72-94, 2018.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Estudo Técnico Adaptação às Mudanças Climáticas na Mobilidade Urbana.** Brasília/DF, 2017.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Caderno de Referência PlanMob.** Brasília/DF, 2015.

MAGAGNIN, R. C.; SILVA, A. N. R. **A percepção do especialista sobre o tema mobilidade urbana.** Revista Transportes, v. XVI, n. 1, p. 25-35, 2008.

MAISONNAVE, F. **Impulsionado pelas mudanças climáticas, rio Negro registra cheia histórica em Manaus.** Folha de São Paulo. 1º de junho de 2021. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/ambiente/2021/06/impulsionado-pelas-mudancas-climaticas-rio-negro-registra-cheia-historica-em-manaus.shtml>. Acesso em 24 de março de 2022.

MCGRANAHAN, G., BALK, D., & ANDERSON, B. (2007). **The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones.** Environment & Urbanization Copyright ©, pp. Vol 19(1): 17–37.

MEHROTRA, S.; ZUSMAN, E.; BAJPAI, J.N.; FEDIRKO, L.; JACOB, K.; REPLOGLE, M.; WOUNDY, M.; YOON, S. **Urban transportation. In Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network.** Cambridge University Press. New York. 491–518, 2018.

MEDEIROS, C. S.; **Vulnerabilidade dos sistemas de transporte em áreas de inundação: uma mudança nos padrões de mobilidade e a busca pela adaptação às alterações climáticas.** Dissertação de mestrado. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2019.

MORENO, Y.S.; RAVACHE, R. L. **A vulnerabilidade das cidades com relação às mudanças climáticas.** Connection line-revista eletrônica do univag, n. 24, 2021.

MORETTI, L.; LOPRENCIPE, G. **Climate Change and Transport Infrastructures: State of the Art. Sustainability.** 2018. Disponível em <https://doi.org/10.3390/su10114098>.

Meyer, M. D. **Design Standards for U.S. Transportation Infrastructure: The Implications of Climate Change**. Georgia Institute of Technology, Atlanta, 30 pp. Transportation Research Board of the National Academies, TRB Publications Index, 2008.

NOBRE, C. A.; YOUNG, A. F. **Vulnerabilidades das megacidades brasileiras às mudanças climáticas: região metropolitana de São Paulo: relatório final**. São José dos Campos: INPE, 2011.

Noble, I.R., S. Huq, Y.A. Anokhin, J. Carmin, D. Goudou, F.P. Lansigan, B. Osman-Elasha, and A. Villamizar: **Adaptation needs and options**. In: **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects**. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014. pp. 833-868.

PAIXÃO, M. **Ocorrência de eventos climáticos extremos se multiplicou por 5 nos últimos 50 anos**. Folha de São Paulo. 01 setembro de 2021. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/mundo/2021/09/ocorrencia-de-eventos-climaticos-extremos-se-multiplicou-por-5-nos-ultimos-50-anos.shtml>. Acesso em: 23 de janeiro de 2022.

PATZ, J.A.; GIBBS, H.K.; FOLEY, J.A. **Climate Change and Global Health: Quantifying a Growing Ethical Crisis**. EcoHealth 4, 397–405, 2007. <https://doi.org/10.1007/s10393-007-0141-1>

PBMC, 2016a: **Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas** [Marengo, J.A., Scarano, F.R. (Eds.)]. PBMC, COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 184 p.

PBMC, 2016b: **Mudanças Climáticas e Cidades. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas** [Ribeiro, S.K., Santos, A.S. (Eds.)]. PBMC, COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 116p. ISBN: 978-85-285-0344-9.

PRADO, B.I.W. **Paisagem Urbana De São Luis: Transformações Das Formas E Arranjos Naturais Na Ponta D'areia**. São Luis: BIWP, 2016.

PEREIRA, E. B. P. **A importância dos espaços livres públicos em estratégias de adaptação de áreas urbanas costeiras sujeitas à inundação no contexto da mudança climática**. 2015. Dissertação de mestrado. PUC-Rio. Rio de Janeiro-RJ.

PIB. **Produto Interno Bruto dos Municípios do Estado do Maranhão**. Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos-IMESC. v.14, n.1, jan./dez. – São Luís: IMESC, 2020

RAVEN, J.; STONE, B.; MILLS, G.; TOWERS, J.; KATZSCHNER, L.; LEONE, M., GABORIT, P.; GEORGESCU, M.; HARIRI, M. **Urban planning and design. Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network**. Cambridge University Press. New York. 139–172, 2018.

REVI, A.; D.E. SATTERTHWAITE, F; ARAGÓN-DURAND, J; CORFEE-MORLOT, R;B.R. KIUNSI, M; PELLING, D.C. ROBERTS;W. SOLECKI, 2014: **Urban areas. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 535-612.

ROSENZWEIG, C.; SOLECKI, W.; ROMERO-LANKAO, P.; MEHROTRA, S.; DHAKAL, S.; Ali IBRAHIM, S. **Pathways to urban transformation. Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network**. Cambridge University Press. New York. 3–26, 2018

ROSSINI-PENTEADO, D.; FERREIRA, C.J. **Mapeamento da vulnerabilidade para análise de riscos associados a processos geodinâmicos**. In: Freitas et al. (eds.) *Vulnerabilidades e Riscos: Reflexões e Aplicações na Análise do Território*. Publisher: UNESP-ICGE-CEAPLA. p.77-94, 2015

RODRIGUES, R.; TAVARES, A. C.; MIRANDA, T. **Urbanizar as baixadas: experiências recentes de projetos de urbanização de assentamentos precários nas áreas de preservação permanente em Belém (PA)**. Anais do IV Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo (ENANPARQ), p. 1-25, 2016.

RITCHIE, A.; THOMAS, R. (Ed.). **Sustainable urban design: an environmental approach**. 2ª ed. Taylor & Francis, 2009.

SANTOS, A. S. **A importância do setor de transporte para o aumento de resiliência das cidades frente à mudança climática: uma proposta de plano de ação para a cidade do rio de janeiro**. Tese de Doutorado – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2014.

SANTOS, A. S.; RIBEIRO, S. K. **Impactos, vulnerabilidades e adaptação no setor de transportes frente às mudanças climáticas: como a cidade do rio de janeiro deverá se preparar?** XXIX Congresso Nacional de pesquisa em transporte da ANPET. 2015.

SODRÉ, G. R. C.; RODRIGUES, L. L. M.; **Comparação Entre Estimativa da Precipitação Observada Pela Técnica CMORPH e Estações**

Meteorológicas do INMET em Diferentes Regiões do Brasil. Revista Brasileira de Geografia Física, v.06, n.02, p. 301 – 307. 2013.

SILVA, B.V.F.; TELES, M.P.R. **Pathways to sustainable urban mobility planning: A case study applied in São Luís, Brazil.** Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, Volume 4, 2020, ISSN 2590-1982, <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100102>.

SIQUEIRA, N. P. **A Relação entre o caminhar e o desenho urbano no contexto da valorização do automóvel: estudo avaliativo da ponta d'areia em São Luís – Ma.** Dissertação de mestrado – UFPR. Curitiba, 2019.

STEWART, M.G., WANG, X.M. and NGUYEN, M.N. **Climate Change Adaptation for Corrosion Control of Concrete Infrastructure.** 2012. Structural Safety, 35, 29-39. <http://dx.doi.org/10.1016/j.strusafe.2011.10.002>.

STONE, B.; HESS, J.; FRUMKIN, H. **Urban form and extreme heat events: are sprawling cities more vulnerable to climate change than compact cities?.** Environmental health perspectives, v. 118, n. 10, p. 1425-1428, 2010.

SMIT, B.; WANDEL, J. **Adaptation, adaptive capacity and vulnerability.** Global environmental change, v. 16, n. 3, p. 282-292, 2006.

SMIT, B. et al. **An anatomy of adaptation to climate change and variability.** In: Societal adaptation to climate variability and change. Springer, Dordrecht, 2000. p. 223-251.

SMIT, B.; PILIFOSOVA, O. **Adaptation to climate change in the context of sustainable development and equity.** Sustainable Development, v. 8, n. 9, p. 9, 2003.

VEYRET, Y.; RICHEMOND, N. M. In: VEYRET, Y. (Org.). **Os riscos: O homem como agressor e vítima do meio ambiente.** São Paulo: Contexto, 2007. 319p.

WALL, M. **A cidade dispersa no Brasil. O caso de São Luís, Maranhão.** J. Urban. 2017.

WANG, J.Y.T. **'Resilience thinking' in transport planning.** Civil Engineering and Environmental Systems, 32 (1-2). 2015. pp. 180-191. ISSN 1029-0249.

WANG, T.; QU, Z.; YANG, Z.; NICHOL, T.; CLARKE, G.; Ge, Y.-E. **Climate change research on transportation systems: Climate risks, adaptation and planning.** Transp. Res. Part D Transport. Environ. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102553>.

YOUNG, C. E. F.; AGUIAR, C.; POSSAS, E. **Sinal fechado: custo econômico do tempo de deslocamento para o trabalho na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.** Econômica, v. 15, n. 2, 2013.

VACCARI, L. S.; FANINI, V. **Mobilidade urbana. Série de Cadernos Técnicos da Agenda Parlamentar do Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia do Paraná–CREA-PR.** Curitiba, 2016.