

## O papel do setor de transportes na mitigação das mudanças climáticas: Uma abordagem interdisciplinar da inovação em mobilidade



<https://doi.org/10.56238/interdiinovationscresce-072>

**Jaqueline Nichi**

### RESUMO

Este artigo aborda a relevância do setor de transportes nas estratégias de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, com foco especial no cenário brasileiro, em que representa 65% do consumo de energia. O modal rodoviário, responsável por 13% das emissões totais de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e) no setor, destaca-se como o principal emissor. Além de enfatizar a importância do planejamento urbano, o potencial de redução das emissões por meio de uma abordagem interdisciplinar que combina governança multinível e tecnologias de baixo carbono são exploradas. Soluções como cidades mais compactas, uso de

energia limpa e integração de diferentes modais, com ênfase no transporte público, são discutidas como estratégias inteligentes e sustentáveis. Este artigo também realiza uma revisão teórica da literatura atual sobre mobilidade inteligente e seus impactos climáticos, analisando oportunidades e desafios sob a perspectiva da transição sociotécnica multinível. Para ilustrar a aplicação dessas ideias, apresentamos um estudo de caso centrado no sistema de mobilidade da cidade de São Paulo, com o objetivo de compreender as barreiras e oportunidades em direção a um transporte permeado por tecnologias inovadoras e neutras em carbono.

**Palavras-chave:** Transição sociotécnica, Mobilidade inteligente, Transporte urbano, Mudanças climáticas, Inovação.

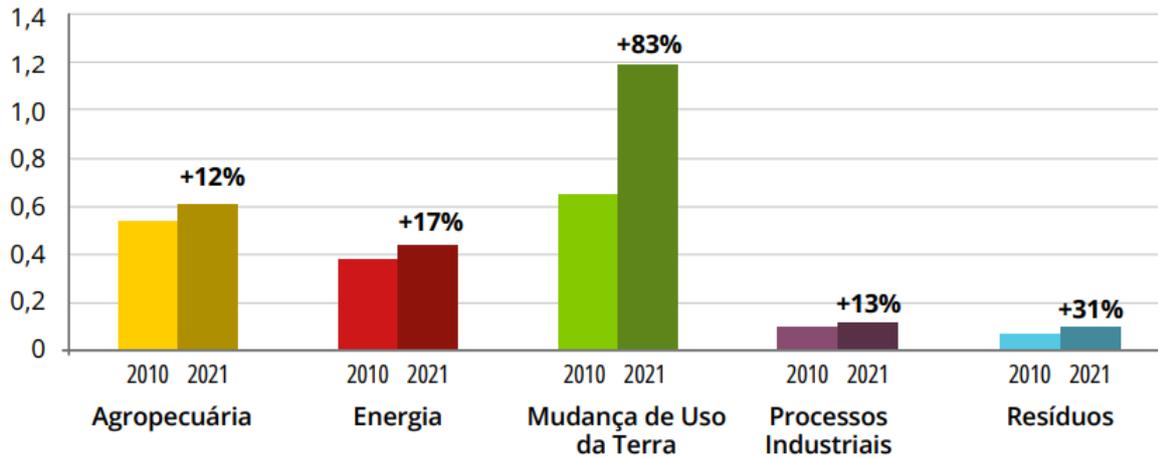
### 1 INTRODUÇÃO

Ao longo do século XX, a indústria automobilística se desenvolveu com base na produção de veículos para uso privado movidos a combustíveis fósseis. Como resultado, em 2021 o setor de transportes foi responsável por 64,5% do consumo mundial de petróleo e por 37% das emissões de CO<sub>2</sub> dos setores de uso final, mesmo tendo sido um dos segmentos mais afetados pela pandemia de COVID-19 nesse período (IEAa, 2022). No Brasil, segundo o Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG), do Observatório do Clima (OC), as emissões cresceram 40% desde 2010, de 1,7 para 2,3 bilhões de toneladas em 2021 (figura 7), quando o país regulamentou a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). Esses resultados devem dificultar o cumprimento das metas de Contribuições Nacionalmente Determinadas<sup>1</sup> (NDC, na sigla em inglês), sendo atualizadas em 2022 para 37% de redução em emissões até 2025, e 43% até 2030.

<sup>1</sup> O Brasil definiu que as NDCs – compromissos voluntários de cada país signatário do Acordo de Paris – serão definidas com base no mais recente Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa com metas progressivas e mais ambiciosas, indicando valores absolutos para as reduções de emissões por meio de planos setoriais de mitigação e adaptação. Fonte: Agência Senado. Disponível em <https://www12.senado.leg.br/noticias>. Acesso em 13 de março de 2022.



Figura 7. Emissões brasileiras por setor antes e depois da PNMC



Fonte: SEEG (2023).

No que diz respeito à mobilidade urbana, a transição para a descarbonização em megacidades em desenvolvimento é ainda mais complexa. Em novembro de 2022 o mundo atingiu a marca de 8 bilhões de habitantes em um momento de múltiplas crises, como a pandemia de COVID-19, que matou mais de 6 milhões de pessoas (UNFPA, 2023). Nesse cenário, os centros urbanos respondem por cerca de 75% do consumo global de energia e por 70% das emissões de GEE<sup>2</sup>, mesmo ocupando apenas 2% da massa do globo terrestre. São 4,5 bilhões de pessoas vivendo em cidades, com perspectiva de que até 2050 esse número seja duplicado. Isso significa que até a metade do século mais de 1,6 bilhão de pessoas sofrerão com temperaturas que podem chegar a até 35 °C em perímetros urbanos (ONU, 2021).

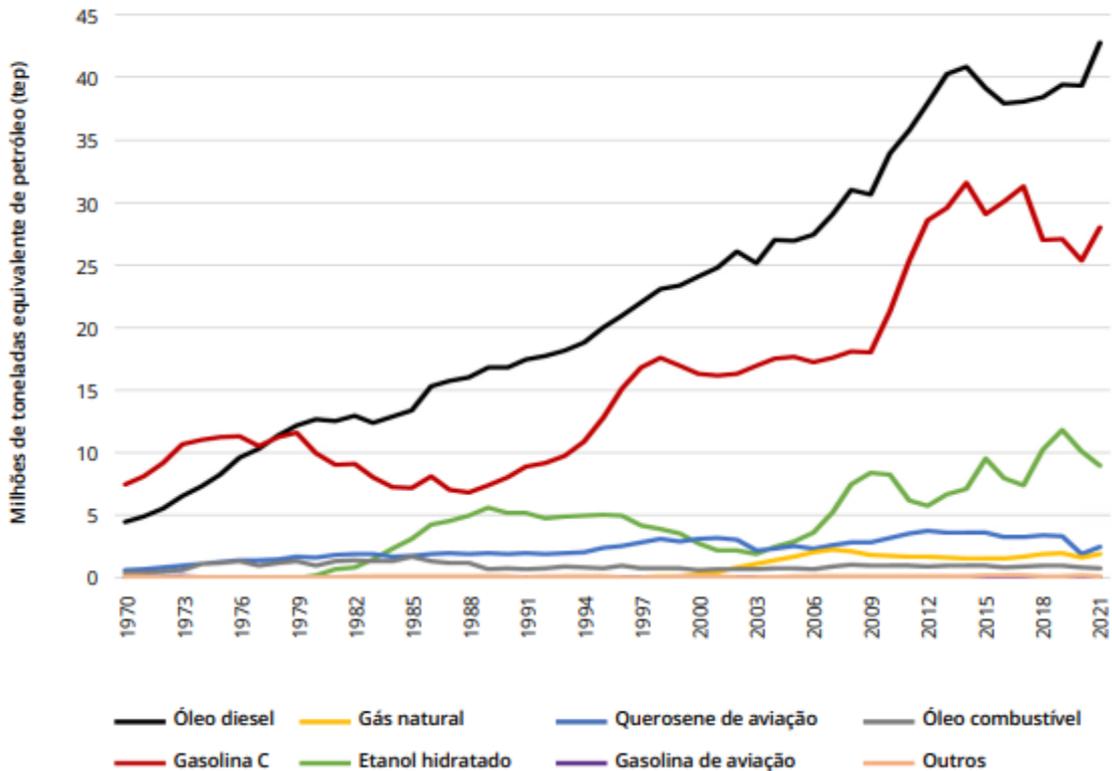
Com isso, o deslocamento de mercadorias e passageiros adensados na urbe evidencia o papel da mobilidade no cumprimento das metas globais de emissão e dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Em consonância com o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), cujo objetivo é tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis, a Conferência do Clima (COP21) em 2015, em Paris, e a Nova Agenda Urbana, aprovada em 2016 na Cúpula Habitat III, no Equador, enfatizaram o papel das cidades na implementação da ação climática local a fim de limitar o aquecimento global a 1,5 °C.

O Relatório Síntese 2022 da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2022) aponta que o transporte é o setor que mais utiliza energia no Brasil (32,5%). Desse total, 95% correspondem ao modal rodoviário, com quase metade (45,1%) utilizando o óleo diesel como fonte (figura 8).

<sup>2</sup> Os GEEs cobertos pelo Protocolo de Kyoto incluem dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs), hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>), trifluoreto de nitrogênio (NF<sub>3</sub>). Fonte: PNUMA (2022).



Figura 8. Consumo de combustíveis na atividade de transporte

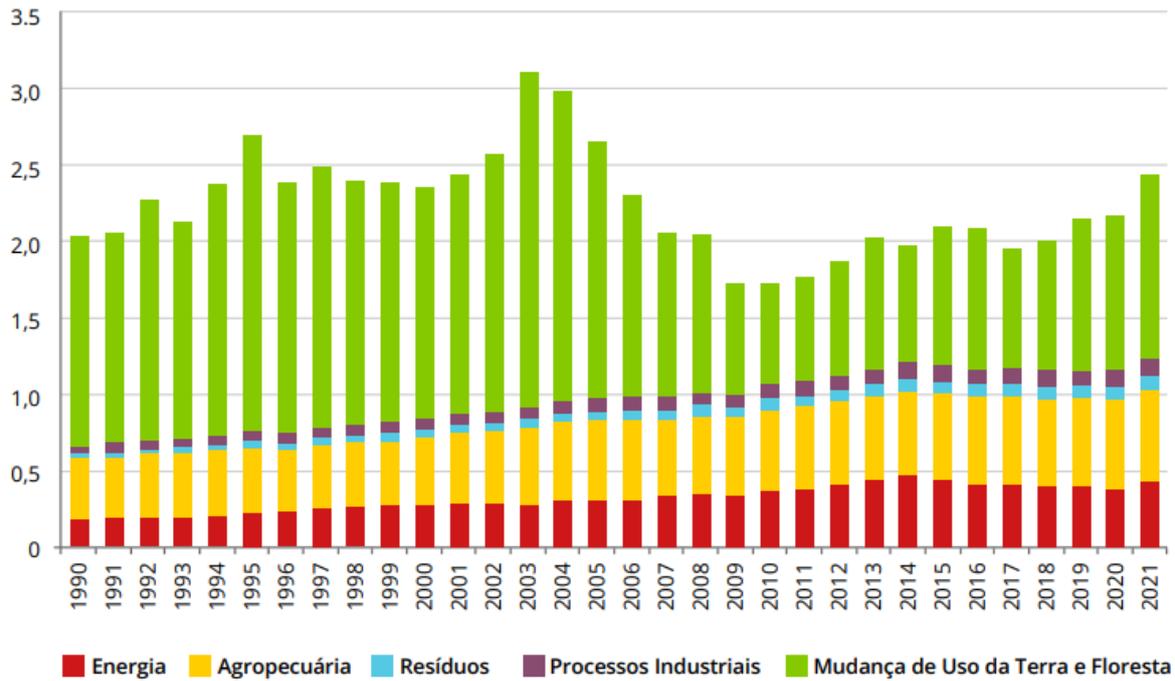


Fonte: SEEG (2023).

O segmento rodoviário (mercadorias e passageiros) é o mais utilizado no Brasil. Com 110.333 km de extensão, representa 6% do Produto Interno Bruto (PIB) e gera 1,2 milhão de postos de trabalho diretos e indiretos e capacidade instalada de 4,5 milhões de unidades, colocando o país na 8ª posição no *ranking* global de produção automotiva (CNTb, 2022; ANFAVEA, 2023). Somente em 2021, 2 milhões de veículos leves novos foram licenciados no país, 1,1% a mais que em 2020, revelando a pujança desse mercado e a preferência desse modal pelos brasileiros (EPE, 2020). Como consequência, 13% das emissões nacionais são originadas nesse segmento, apresentando crescimento de 5% ao ano (figura 9). A maioria dessa energia é consumida por caminhões pesados e ônibus (55%), seguidos por automóveis (36%).



Figura 9. Emissões de gases de efeito estufa (GEE) do Brasil de 1990 a 2021 (GtCO<sub>2</sub>e)



Fonte: SEEG (2023).

Como enfrentamento à alta da demanda de energia para a locomoção de pessoas e mercadorias nas cidades, as organizações internacionais reconhecem cada vez mais o papel da tecnologia no potencial de mitigação e adaptação aos impactos climáticos. O Centro Climático do PNUMA-Copenhague, em colaboração com a Diretoria de Cooperação para o Desenvolvimento da OCDE, identificou as tecnologias climáticas prioritárias, seu nível de maturidade e fluxos financeiros necessários para sua transferência no relatório *Technology Transfer for Climate Mitigation and Adaptation*<sup>3</sup>. Complementarmente, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) lançou o *The Climate Technology Progress Report 2022*, com foco no desenvolvimento e progresso de tecnologias para a ação climática numa perspectiva local e global. No Brasil, o PNUMA se uniu ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) em 2021 para lançar o primeiro *Relatório de Avaliação de Necessidades Tecnológicas para Implementação de Planos de Ação Climática no Brasil*,<sup>4</sup> dividido por setores. Em comum, esses relatórios enfatizam as necessidades de tecnologia climática nos países em desenvolvimento:

“Todas as Partes [...] deverão: (c) Promover e cooperar no desenvolvimento, aplicação e difusão, incluindo a transferência de tecnologias... que controlam, reduzem ou previnem as emissões antrópicas de gases de efeito estufa [...]” – Artigo 4, parágrafo 1.

<sup>3</sup> O Relatório Especial do IPCC sobre Questões Metodológicas e Tecnológicas sobre Transferência de Tecnologia (SRTT) refere-se ao termo “transferência de tecnologia” como um conjunto de processos que cobrem os fluxos de experiência e equipamentos para mitigar e se adaptar às mudanças climáticas, não apenas conhecimento patentado, mas difusão e cooperação tecnológica entre e dentro dos países e o processo de aprendizagem, uso e replicação da tecnologia. Disponível em [https://archive.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg3/en/ch2s2-7-3.html](https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/ch2s2-7-3.html).

<sup>4</sup> Disponível em: <https://repositorio.mcti.gov.br/handle/mctic/4973>.



“As Partes de países desenvolvidos devem tomar todas as medidas possíveis para promover, facilitar e financiar, conforme apropriado, a transferência ou acesso a tecnologias e *know-how* ambientalmente saudáveis a outras Partes, particularmente Partes de países em desenvolvimento, para que possam implementar as disposições da Convenção [...]” – Artigo 4, parágrafo 5 (UNFCCC, 2022).

Sobre os impactos da tecnologia na sociedade, as Ciências Sociais têm-se concentrado no desenvolvimento, na difusão e, principalmente, nas consequências de tecnologias específicas, como a máquina a vapor (Revolução Industrial) ou o computador (Revolução Digital). Mas uma característica importante da tecnologia moderna é a existência de grandes e complexos sistemas (redes sociotécnicas) espacialmente estendidos e funcionalmente integrados, como o sistema de mobilidade, que tiveram um papel central no processo de industrialização e desenvolvimento econômico, contribuindo para uma mudança significativa no comportamento e estilo de vida da sociedade. Para além dos benefícios, esses sistemas geram externalidades negativas que influenciaram o campo de pesquisa no qual os cientistas sociais passaram a analisar seu funcionamento e evolução (HUGHES, 1989).

Mas, no mundo contemporâneo, a tecnologia tornou-se um componente transversal da vida moderna, influenciando todas as práticas sociais, do trabalho aos relacionamentos interpessoais, da educação à saúde. A catástrofe climática não fica imune a essa influência, dada a desinformação impulsionada pela tecnologia. Seis entre sete pessoas em todo o mundo se dizem inseguras em relação ao futuro (UNEP, 2022), suggestionadas por notícias sombrias sobre as mudanças climáticas veiculadas pelas redes sociais e aplicativos de mensagens, enquanto o negacionismo climático pode ser usado como justificativa para a inação e a deslegitimação do conhecimento científico sobre o tema (NICHI, 2021).

Numa perspectiva interdisciplinar, compreender a dinâmica institucional e política associada ao processo de descarbonização do transporte por meio de tecnologias climáticas requer uma análise mais acurada do melhor caminho para as mudanças serem estruturais e sistêmicas (KERN, 2012; BANISTER, 2008). Por exemplo: mesmo com um alto impacto socioambiental, um carro médio fica sem uso por mais de 90% do tempo, carrega em média uma pessoa e ocupa 15m<sup>2</sup> do espaço urbano, além do alto custo de manutenção e impostos, e ainda é um modal que atrai a maioria dos usuários de transporte pela percepção de *status* e comodidade (BONDOROVÁ; ARCHER, 2017).

Com base em aspectos sociais, econômicos e políticos, somados ao potencial de mitigação e adaptação climática com a introdução de novas tecnologias no setor de transportes, este artigo investiga os elementos e condições favoráveis para a regulamentação, investimento e adoção de políticas fundamentadas nos cenários de emissão de carbono no Brasil. O objetivo é sintetizar a literatura recente sobre mobilidade inteligente e mudanças climáticas e compreender as oportunidades e desafios dessa abordagem para o enfrentamento aos impactos climáticos no transporte urbano de passageiros. Para



tanto, o enfoque será dado a soluções que se enquadrem na abordagem “evitar-mudar-melhorar” (DALKMANN; BRANNIGAN, 2007), sendo:

- Evitar: redução de viagens por meio do gerenciamento da demanda e do planejamento urbano e tecnologias de automação e de dados que permitam evitar viagens;
- Mudar: medidas que estimulem modais coletivos e mais eficientes, como o transporte público e o deslocamento a pé ou de bicicleta;
- Melhorar: uso de combustíveis e veículos mais eficientes ou sua eletrificação.

## 1.1 ESTRATÉGIAS DE ADAPTAÇÃO E MITIGAÇÃO NO TRANSPORTE

Efeitos decorrentes de eventos climáticos, como alagamentos e inundações, elevação ou queda de temperatura, ventos, chuvas e deslizamentos, além da maior propensão a mortes e acidentes, tendem a ser um desafio maior nas cidades, onde está concentrada 61% da população (124,1 milhões de pessoas) de mais de 203 milhões de brasileiros (IBGE, 2022).

Dificuldades no deslocamento de passageiros e no escoamento de produtos, somadas à instabilidade em serviços de sinalização, equipamentos e instalações de trânsito, prejudicam o sistema logístico, com alto impacto nas atividades econômicas (quadro 3). Adicionalmente, os custos para a recuperação da infraestrutura danificada oneram e atrasam o financiamento de soluções climáticas.

Quadro 3. Impactos potenciais do clima sobre a infraestrutura e mobilidade urbana

<b>Impactos climáticos</b>	<b>Impactos na infraestrutura</b>	<b>Impactos na mobilidade</b>
<i>Aumento de temperatura</i>	Deterioração e deformação de pavimentos e trilhos, pontes e viadutos; Instabilidade de taludes; Superaquecimento e sobrecarga de equipamentos.	
<i>Aumento da precipitação e de eventos extremos</i>	Danos à infraestrutura; Danos em equipamentos e sistemas elétricos; Deterioração de estruturas; Deslizamentos; Quedas de árvores; Queda de sinalização e controle; Sobrecarga de sistemas de drenagem; Redução de visibilidade e aderência de veículos; Restrições à navegabilidade.	Redução da segurança e/ou de desempenho dos modos de transporte; Redução do conforto de passageiros, pedestres e ciclistas; Aumento do tempo de viagem; Bloqueio de vias; Restrições na logística de produtos e serviços; Aumento de custos operacionais; Redução da participação de modos de transporte coletivo e não motorizado.
<i>Elevação e sobre-elevação do nível do mar</i>	Danos à infraestrutura; Erosão e corrosão de estruturas e materiais; Danos a camadas de suporte das vias.	
<i>Redução da precipitação</i>	Restrições à navegabilidade.	

Fonte: Adaptado do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (2016) e BRASIL 2040: cenários e alternativas de adaptação à mudança do clima (2015).



Quanto à capacidade adaptativa no setor de transportes, a diversificação dos modais, a qualidade do sistema de transporte, o planejamento viário e de uso e ocupação do solo são algumas das medidas de adaptação mais reconhecidas. Soluções técnicas que minimizem os impactos de eventos extremos, como sistemas de alerta meteorológicos e alternativas de rotas, também se configuram como adaptativas, assim como a qualificação do transporte coletivo e modais não motorizados como alternativas de deslocamento (LAH, 2019). O autor pontua que essas medidas, isoladamente, são insuficientes para a transição a uma mobilidade de baixo carbono e que são necessárias políticas que incluam impostos sobre combustíveis e veículos integrados ao planejamento urbano compacto. Além disso, investimentos vultosos em infraestrutura de transporte, em geral, têm prazos de validade mais curtos e, dado o rápido avanço dos impactos climáticos, podem ser pouco resilientes (KOETSE; RIETVELD, 2012).

A Declaração de Bogotá para um Transporte Sustentável (BOGOTA, 2011), da qual o Brasil é um dos países signatários, adota a abordagem “evitar-mudar-melhorar” para alinhar o transporte aos Princípios do Desenvolvimento Sustentável e implica soluções similares ao do *Working Group on Sustainable Urban Transport* (WGSUT): evitar viagens ineficientes ou desnecessárias, mudar o modal de transporte para opções menos poluentes e gerar soluções de transporte de baixo carbono por meio de melhorias em tecnologia, regulação, operação e infraestrutura para tornar a oferta mais ambientalmente eficiente.

## 1.2 CIDADE E MOBILIDADE INTELIGENTES

Embora a definição e a conceituação de cidades inteligentes tenham surgido na década de 1990, a literatura científica não traz um consenso (NEIROTTI *et al.*, 2014). No entanto, reduzir a ideia de inteligente (ou *smart*<sup>5</sup>) a ferramentas tecnológicas não traduz o potencial desse modelo de urbanidade em iniciativas sustentáveis e socialmente inclusivas. Ainda assim, as Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) representam o alicerce de uma cidade inteligente (CARAGLIU; DEL BO, 2019; KITCHIN, 2015; BATTY *et al.*, 2012; NAM; PARDO, 2011). As TICs possibilitaram, inclusive, que o mundo se estruturasse como uma sociedade em rede, na qual os fenômenos econômicos e sociais acontecem de forma quase instantânea (CASTELLS, 2007). Um exemplo recente dessa revolução digital foi a pandemia de COVID-19, que acelerou novos hábitos, como o trabalho remoto (teletrabalho ou *home office*) e a flexibilização do horário de trabalho, principal motivo dos deslocamentos cotidianos, configurando também uma mudança de paradigma possibilitada pela tecnologia.

Ainda assim, a integração tecnológica com aspectos socioambientais só foi aprofundada a partir de Giffinger *et al.* (2007), que amplificou as características de uma cidade inteligente a partir de seis

---

<sup>5</sup> A expressão *smart city* surgiu nos anos 90 pela IBM, quando passava por um período de crise com a chegada de novas empresas de tecnologia, como Microsoft e Apple. A empresa observou no crescimento das cidades potencial para novos negócios e inovações. Fonte: Söderström *et al.* (2014).



enfoques: i) economia inteligente, ii) pessoas inteligentes, iii) governança inteligente, iv) mobilidade, v) ambiente inteligente e vi) vida inteligente (quadro 4). Os autores apontam, ainda, a necessidade de um transporte acessível e sustentável, bem como o uso equilibrado dos recursos naturais nesse setor.

Bai *et al.* (2018) definem as cidades inteligentes e as TICs como um novo e importante conceito entre as prioridades para enfrentar os impactos do clima e o aquecimento global nas cidades. Entre as tecnologias disruptivas, os autores citam o controle digital de recursos, como energia, água e transporte, para evitar que os riscos climáticos atinjam esses sistemas simultaneamente. Por exemplo, interrupções concomitantes levam à escassez de alimentos, dinheiro e combustíveis, como aconteceu em Nova York após o furacão Sandy, em 2012. Materiais como cimentos, que absorvem CO<sub>2</sub> – a produção de cimento é a terceira maior fonte de emissões na indústria (5,6%), depois da queima de combustíveis fósseis e de mudanças no uso da terra –, podem ser soluções sustentáveis e de baixo custo (BAI *et al.*, 2018).

Quadro 4. As seis dimensões que caracterizam uma cidade inteligente

<b>Dimensão</b>	<b>Características</b>
<b>Economia inteligente (competitividade)</b>	Espírito inovador; Empreendedorismo; Imagem econômica e marca; Produtividade; Mercado de trabalho flexível; Inserção internacional; Habilidade de transformar.
<b>Pessoas inteligentes (capital humano e social)</b>	Nível de qualificação; Afinidade com “ <i>life long learning</i> ”; Diversidade étnica e social; Flexibilidade; Criatividade; Espírito cosmopolita e “mente aberta”; Participação na vida pública.
<b>Governança inteligente (participação)</b>	Participação nas tomadas de decisão; Serviços públicos e sociais; Transparência; Estratégias e perspectivas políticas.
<b>Mobilidade inteligente (transporte e TIC)</b>	Acessibilidade local; Acessibilidade internacional; Infraestrutura de TIC disponível; Sistemas de transporte seguros, sustentáveis e inovadores.
<b>Meio ambiente inteligente (recursos naturais)</b>	Atratividade dos recursos naturais; Condições; Poluição; Proteção ao meio ambiente; Gestão sustentável.
<b>Estilo de vida inteligente (qualidade de vida)</b>	Serviços culturais; Condições de saúde; Segurança individual; Qualidade habitacional; Serviços de educação;



	Atratividade turística; Coesão social.
--	---

Fonte: Traduzido e adaptado de Giffinger *et al.* (2007).

No desenvolvimento dessa concepção, outros autores destacaram o papel da colaboração entre os atores públicos e privados para incentivar inovações em cidades inteligentes (AHVENNIEMI *et al.*, 2017) e a participação da sociedade civil nas tomadas de decisão (DEAKIN; AL WAER, 2011), com uma visão mais centrada nas pessoas com a tecnologia como suporte para melhorar a qualidade de vida nas cidades (NEIROTTI *et al.*, 2014; ANGELIDOU, 2015).

Tornar, construir ou adequar cidades inteligentes parece ser um caminho natural para os grandes centros urbanos. Inserir a Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) na construção de um ambiente urbano com serviços e infraestrutura mais eficientes requer uma transição sociotécnica (ST). Broto e Bulkeley (2013) apontam a experimentação como uma tendência global na governança climática urbana nesse paradigma social, na qual governos municipais formulam intervenções, processos e instrumentos que ajudam a acelerar a ação climática em nível local. Complementarmente, Geels *et al.* (2018) argumentam que a transformação pode ocorrer quando os atores alteram a direção estratégica para abarcar uma mudança, dependendo de elementos organizacionais reajustados a partir de hábitos, crenças e valores subjacentes. Aqui, transformação é interpretada como um conjunto de processos por meio dos quais os regimes existentes são gradualmente modificados em termos de tecnologias, instituições e cultura.

A Carta Brasileira para Cidades Inteligentes<sup>6</sup> é uma iniciativa da Coordenação-Geral de Apoio à Gestão Regional e Urbana da SMDRU/MDR para definir um conceito de “cidades inteligentes” para o Brasil e uma agenda para a transformação digital das cidades brasileiras de forma sustentável. O documento foi escrito de forma colaborativa com o apoio da Agência de Cooperação Alemã GIZ e em parceria com o Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), com o Ministério das Comunicações (MCom), além de 126 instituições públicas e privadas envolvidas com políticas públicas de desenvolvimento territorial, tecnológico e ambiental, chegando à seguinte definição:

“Cidades inteligentes são cidades comprometidas com o desenvolvimento urbano e a transformação digital sustentáveis, em seus aspectos econômico, ambiental e sociocultural, que atuam de forma planejada, inovadora, inclusiva e em rede, promovem o letramento digital, a governança e a gestão colaborativas e utilizam tecnologias para solucionar problemas concretos, criar oportunidades, oferecer serviços com eficiência, reduzir desigualdades, aumentar a resiliência e melhorar a qualidade de vida de todas as pessoas, garantindo o uso seguro e responsável de dados e das tecnologias da informação e comunicação.”

<sup>6</sup> Disponível em <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/desenvolvimento-urbano/carta-brasileira-para-cidades-inteligentes/CartaBrasileiraparaCidadesInteligentes2.pdf>. Acesso em 12 de maio de 2021.



Um dos problemas mais discutidos em cidades inteligentes diz respeito à mobilidade inteligente (*smart mobility*), que já está mudando o sistema de transporte com iniciativas como eletrificação, conectividade, compartilhamento de viagens e autonomia de veículos. Mas esse campo de estudo é permeado por controvérsias. Obringer e Nategui (2021), por exemplo, em um artigo de revisão do conceito de cidades inteligentes no Antropoceno<sup>7</sup>, apontam os desafios associados à pegada ambiental das tecnologias inteligentes, como o aumento do uso de energia e da geração de lixo eletrônico, como baterias. Ainda assim, a maioria das pesquisas conclui que a tecnologia é benéfica para o processo de reduzir as emissões de carbono no setor (LAH, 2017; BONDOROVÁ; ARCHER, 2017; NAKAMURA; HAYASHI, 2013).

### 1.3 TECNOLOGIAS DE DESCARBONIZAÇÃO NO TRANSPORTE

#### 1.3.1 Compartilhamento de viagens

No eixo de sistemas compartilhados, Uber e 99 são as marcas mais conhecidas pelos brasileiros e operam sistemas chamados de redes de transporte porta a porta. Fulton *et al.* (2017) concluíram que a frota global de automóveis poderia ser reduzida em um terço se o compartilhamento fosse amplamente adotado.

Alguns autores questionaram a efetividade dessa redução, já que o compartilhamento está diretamente associado ao aumento do uso do carro privado e compartilhado, além de reduzir o impacto de fabricação e estacionamentos, mas é imprescindível integrar esse recurso de mobilidade a um modelo multimodal de transporte sustentável (BAI *et al.*, 2018; BONDOROVÁ; ARCHER, 2017).

#### 1.3.2 Veículos elétricos e autônomos

As vendas de carros elétricos dobraram em 2021 para um novo recorde, de 6,6 milhões (IEAb, 2022). Mas o futuro deste mercado depende da diversificação de baterias e suprimentos minerais, como lítio, cobalto, grafite e níquel, para reduzir os riscos de gargalos e o aumento de preços. Embora seja boa a perspectiva internacional, a eletrificação da frota no Brasil encontra desafios. A oferta de infraestrutura para carregamento das baterias nas cidades e nas residências e a comercialização da energia elétrica necessária para o abastecimento dos veículos representam barreiras para a sua implementação em escala.

A vocação brasileira para o etanol é a maior justificativa dos que defendem a postergação da entrada do veículo elétrico no Brasil, e alguns órgãos do setor começam a apoiar a ideia de desenvolvimento da tecnologia híbrida *flex*, que associaria o motor elétrico ao motor *flex*,

---

<sup>7</sup> O termo “Antropoceno” foi proposto por Paul Crutzen e Eugene Stoermer para definir a era geológica que sucederia o Holoceno. Uma de suas premissas seria a de que o ser humano teria se tornado uma força geológica e teria papel decisivo nas mudanças climáticas já em curso (Crutzen e Stoermer, 2000).



possibilitando o aproveitamento da infraestrutura da indústria sucroalcooleira já instalada em território nacional.

Um relatório da McKinsey e Bloomberg New Energy Finance sustenta uma visão integrada para o futuro da mobilidade que aponta para três eixos de inovação: compartilhamento, eletrificação e autônomos, e prevê que as mudanças deverão ocorrer em nível local, nos grandes centros urbanos (BOUTON *et al.*, 2017). Em linha com essa tendência, as principais montadoras tradicionais já contam com projetos de veículos autônomos e elétricos. O principal obstáculo na eletrificação diz respeito à matriz energética dos países que produzem as baterias e seu descarte, já que sua reciclagem é complexa e requer tecnologia específica.

Veículos autônomos têm potencial de redução de até 94% das emissões de GEE por quilômetro até 2030, em comparação com veículos convencionais movidos a combustão (LAH, 2019). Eles também geram repercussão por registros de acidentes fatais ocorridos nos últimos anos e requerem um processamento intensivo de dados de múltiplos sensores em tempo real para a execução de tarefas de percepção do ambiente externo, e encarecendo esse tipo de solução.

Ainda assim, o futuro para esse mercado no Brasil é visto com otimismo com a chegada das empresas chinesas BYD, que anunciou investimento<sup>8</sup> de R\$ 3 bilhões em três fábricas na Bahia para lançar o primeiro carro 100% elétrico produzido no país, e TEVX Higer, montadora de ônibus e caminhões elétricos, que terá duas fábricas no país<sup>9</sup>. O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) também vai disponibilizar R\$ 200 milhões para infraestrutura e mobilidade sustentável,<sup>10</sup> no âmbito do programa Rota 2030, criado pelo Governo Federal em 2018 para apoiar a produção de carros híbridos, ônibus elétricos e produtos relacionados.

### 1.3.3 Energia renovável

Os resultados históricos demonstram que a participação de energia renovável na atividade de transporte de passageiros (automóveis e comerciais leves) no Brasil é significativa, sendo o país pioneiro no uso de cana-de-açúcar para a produção de combustível. Quanto ao biodiesel, o país tem 59 usinas, com capacidade instalada de produção de 13,8 bilhões de litros anuais. A principal matéria-prima do biodiesel produzido no Brasil é o óleo de soja (70%), seguido por gordura animal (20%) e óleo de cozinha reciclado, e sazonalmente óleos de dendê (palma) e de algodão (10%) (EPE, 2020).

As emissões evitadas pelo uso de etanol de primeira geração, biodiesel e bioeletricidade de cana-de-açúcar em 2021 foram de 47,9 MtCO<sub>2e</sub>, 19,0 MtCO<sub>2e</sub> e 4,3 MtCO<sub>2e</sub>, respectivamente,

---

<sup>8</sup>Disponível em <https://www.capitalreset.com/byd-sera-primeira-a-fabricar-carro-eletrico-no-brasil>.

<sup>9</sup>Disponível em <https://www1.folha.uol.com.br/colunas/eduardosodre/2023/07/fabricante-chinesa-de-onibus-eletricos-confirma-segunda-fabrica-no-brasil.shtml>.

<sup>10</sup>Disponível em <https://www1.folha.uol.com.br/colunas/painel/2023/07/bndes-disponibiliza-r-200-milhoes-para-cadeia-de-carros-hibridos-e-onibus-eletricos.shtml>.



somando 71,2 MtCO<sub>2e</sub>. Quanto ao biogás, destaca-se que sua capacidade instalada em geração distribuída alcançou 43 MW, tendo como insumo resíduos agroindustriais, de animais e urbanos. Ademais, sua participação na oferta interna de energia (0,12%) apresentou crescimento de 22% ao ano no último quinquênio.

Em 2021, a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) concluiu o seu primeiro ciclo completo de operacionalização em mercado organizado. Até dezembro de 2021, 272 unidades produtoras estavam certificadas, sendo a maioria de etanol. Por intermédio da Resolução CNPE nº 17, de outubro de 2021, definiu metas compulsórias anuais de redução de emissões de GEE para a comercialização de combustíveis. A aprovação do governo para o aumento da mistura de biodiesel no diesel de origem fóssil (de 10% para 12%, em 2023), com previsão de chegar a 15% em 2026, faz parte de um programa que estabelece metas obrigatórias para uma redução das emissões. Como resultado, o país deve deixar de importar e queimar 1 bilhão de litros em 2023, chegando a até 4 bilhões em 2026 (EPE, 2020), a fim de alcançar a meta definida pela RenovaBio<sup>11</sup>. Mas essa solução também envolve controvérsias em relação à matéria-prima, que requer muita água no cultivo de suas plantações e, além disso, as monoculturas empobrecem o solo.

Na cidade de São Paulo, a Lei de Mudanças Climáticas de 2009 determinava que toda a frota de ônibus fosse renovada para ser movida a energia limpa até 2018, mas pela justificativa de que hoje somente 1% atende à legislação, essa determinação foi dispensada e existe um novo projeto de lei no Legislativo alterando o prazo para a implementação gradual até 2037 (NICHI; ZULLO, 2021). São 13.945 coletivos, considerando os veículos em operação e de reserva, para transportar uma média de 7 milhões de passageiros por dia útil (SPTRANS, 2021).

#### 1.4 TRANSIÇÃO PARA UMA MOBILIDADE INTELIGENTE E SUSTENTÁVEL EM SISTEMAS SOCIOTÉCNICOS

Problemas como as mudanças climáticas não podem ser resolvidos por melhorias incrementais, mas requerem alterações sistêmicas, também denominadas transições sustentáveis, que englobam modificações nos padrões de produção e consumo relacionados aos setores de energia e transportes (MARKARD *et al.*, 2012).

Essas alterações implicam a evolução de estruturas estáveis atreladas a fatores políticos, econômicos, sociais, culturais, mercadológicos e técnicos, e configuram sistemas sociotécnicos. Estilos de vida, regulamentos e arranjos institucionais estabilizam esses sistemas em regimes que podem levar décadas para se consolidarem por seu caráter não linear, aberto, e revelam o caráter

---

<sup>11</sup> RenovaBio é uma iniciativa do Ministério de Minas e Energia (MME), lançada em dezembro de 2016, que visa expandir a produção de biocombustíveis, fundamentada na previsibilidade e sustentabilidade ambiental, econômica e social. É guiada por três eixos estratégicos: 1) Metas de Descarbonização, 2) Certificação da Produção de Biocombustíveis e 3) Crédito de Descarbonização (CBIO).



multidimensional dos processos de transição sustentável (STRN, 2019; MARKARD *et al.*, 2012; DWYER, 2011; HUGHES, 1989).

Entre as principais dimensões da transição sociotécnica estão as agências e políticas, a governança e a participação da sociedade civil. Para além dos enfoques analíticos associados à inovação tecnológica como tema central de análise, são considerados aspectos institucionais e aqueles relacionados aos atores do sistema (MARKARD *et al.*, 2012; RIP; KEMP, 1998). A perspectiva multinível em sistemas sociotécnicos compreende a inovação como um processo moldado por contextos sociais mais amplos, em que regras e instituições configuram estruturas que são tanto o contexto quanto o resultado das ações dos atores, incluindo níveis de governo (GEELS, 2019; GEELS; SCHOT, 2007). Essa análise também é estratégica para gestores públicos em processos de transição que aglutinam diversos grupos sociais (empresas, usuários e organizações da sociedade civil), com preferências, estratégias e recursos distintos na formulação da agência, como a criação de sentido, aprendizados, colaboração, competição, investimentos e compra, em estruturas sociais conformadas por regras e instituições (GEELS, 2019).

Assim, para compreender de que forma a transição tecnológica converge com a governança climática pública, este artigo trabalha com o conceito de governança sociotécnica complementada pelo conceito de governança multinível convergente a soluções multiescalares para problemas complexos, como as mudanças climáticas, e que, por isso, deve ser administrada nos diversos níveis de governo com impactos transversais (DEWULF *et al.*, 2015; NEWELL *et al.*, 2012).

Sob a perspectiva multinível, Geels (2018) comenta que as disrupções surgem em nichos (desenvolvimentos exógenos que influenciam o regime vigente), regimes sociotécnicos (estruturação institucional de sistemas por meio de processos de aprendizagem e apoio de grupos de poder) ou paisagem sociotécnica (desenvolvimentos exógenos que influenciam a dinâmica de nicho e regime criando janelas de oportunidade para inovações). Nichos de mercado, por exemplo, funcionam como laboratórios onde os usuários têm demandas especiais e estão dispostos a apoiar inovações emergentes. As cidades também podem caracterizar laboratórios, segundo Broto e Bulkeley (2013), que as denominam “experimentos de mudanças climáticas” imaginados por (ou em nome de) uma comunidade urbana para testar intervenções técnicas e sociais voltadas à mitigação e adaptação aos impactos do clima. Ou ainda, laboratórios vivos urbanos (*Urban Living Labs*), como espaços de experimentação para o planejamento das cidades (NICHI; CORTESE, 2022).

Esse processo pode ser guiado por três caminhos, conforme Geels (2011): i) articulação de expectativas e visões para atrair atenção e financiamento de atores externos, ii) construção de redes para ampliar a base de atores e recursos e iii) processos de aprendizagem e articulação que englobam demandas do mercado, preferência dos usuários, infraestrutura, modelos de negócio, políticas públicas e representações simbólicas, como cultura e crenças. O autor destaca, ainda, que a participação de

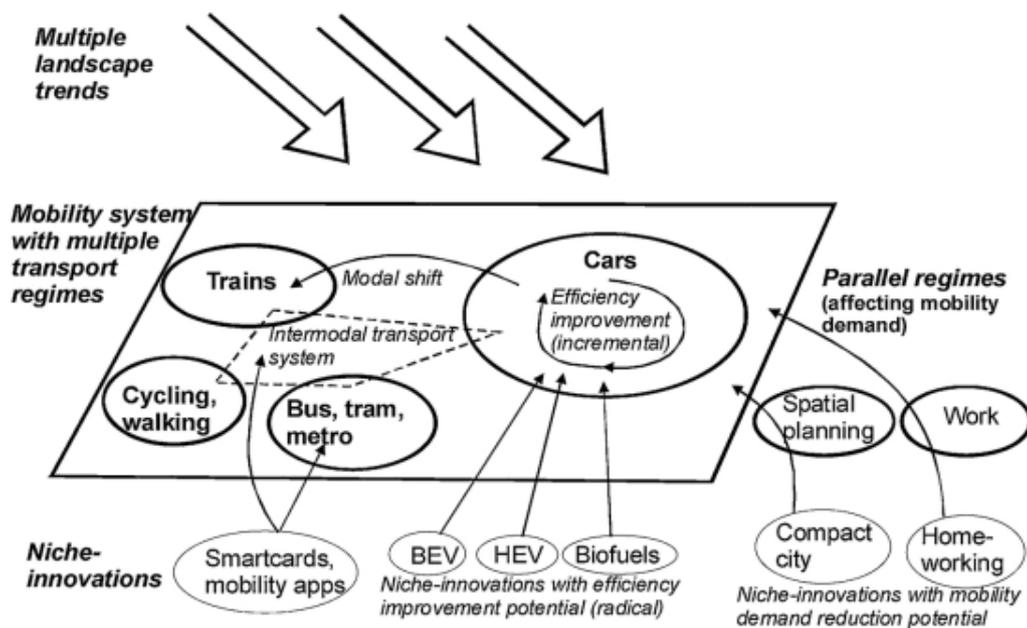


atores com poder político ou socioeconômico ajuda a legitimizar as inovações. Por fim, a soma do conjunto de regras que orientam os grupos são meio e resultado da ação de atores que compartilham práticas, capacidades, modos de vida e valores que configuram arranjos institucionais e regulatórios (GIDDENS, 1984).

Como um sistema de mobilidade urbana também é constituído pela interrelação entre os processos técnicos e sociais, a transição para um futuro de mobilidade urbana sustentável pode ser conceituada como um sistema sociotécnico (CANITEZ, 2019; NYKVIST; WHITMARSH, 2008). Neste contexto, a análise incorpora as regras e instituições que permitem e restringem os atores que impulsionam inovações. Marletto (2014) é um dos autores que abordam a mobilidade urbana e o transporte de uma perspectiva da teoria da transição sociotécnica para comprovar que o futuro da mobilidade urbana depende da participação de atores que apoiam sistemas de transporte alternativos.

A análise dos resultados deste artigo segue a premissa de Geels (2012), que sugere uma distinção analítica entre sistema sociotécnico, atores e instituições/regras para adaptar o mapa sociotécnico do sistema de mobilidade urbana de São Paulo a fim de representar o posicionamento dos atores (figura 10).

Figura 10. Perspectiva multinível adaptada ao sistema de mobilidade de passageiros



Fonte: Geels (2012).

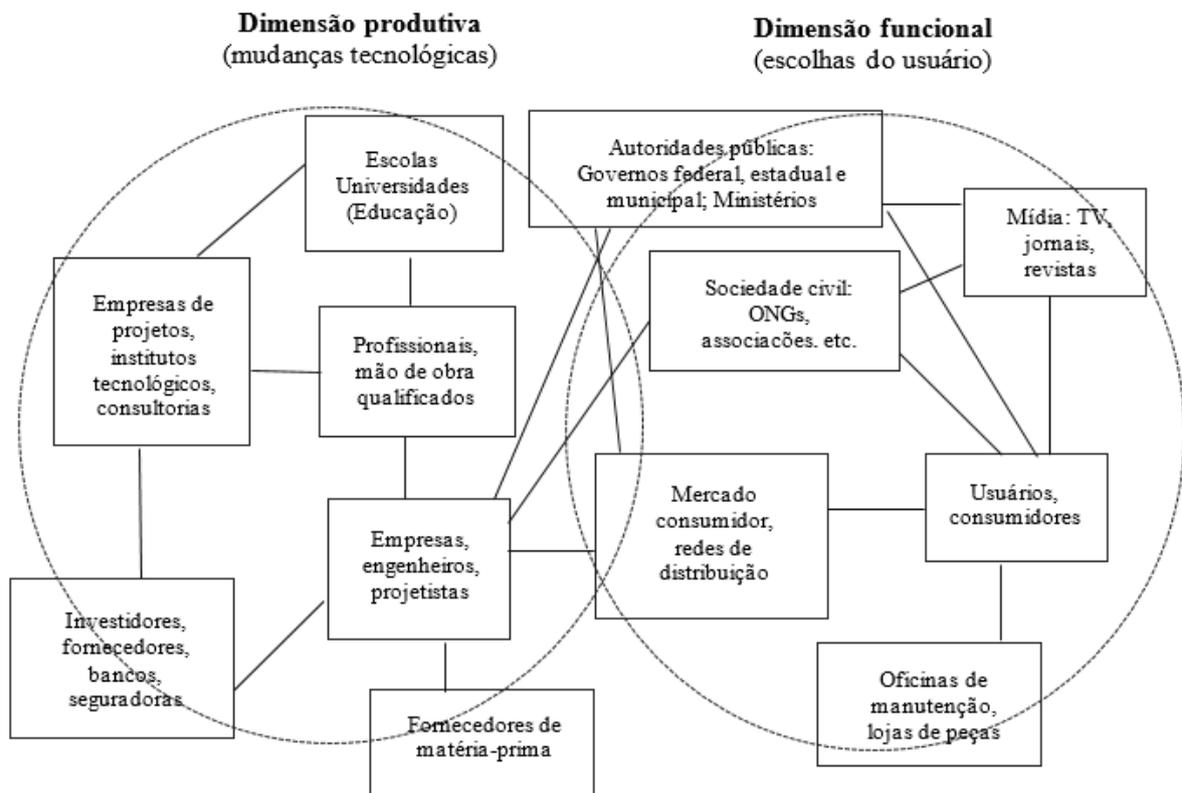
Uma transição sociotécnica, assim como a governança ambiental climática, requer uma atuação multiescala, multiator e multinível. A governança multiescala refere-se às diferentes escalas do problema de adaptação às mudanças climáticas, responsabilidades nos diferentes níveis de governança, e em como lidar com a tensão entre escala e adaptação (BARBIERI; FERREIRA, 2018; DEWULF *et al.*, 2015; NEWELL *et al.*, 2012). Com relação às mudanças tecnológicas, regulamentos e políticas,



infraestrutura viária, uso de TIC, mercados e práticas de usuários, indústria e redes de estrutura e manutenção, e até as visões de mundo dos atores, bem como as instituições que moldam essas visões, são igualmente relevantes (CANITEZ, 2019; BANISTER, 2008).

Vale mencionar que a referência a múltiplos atores diz respeito não somente à esfera pública, mas a empresas, cientistas, mídia, sociedade civil e ONGs (figura 11), sendo todos eles fundamentais na condução da governança ambiental, por vezes atuando em rede, por meio de parcerias e coalizões (DEWULF *et al.*, 2015; GEELS, 2012).

Figura 11. Grupos sociais que compõem um sistema sociotécnico multinível



Fonte: Traduzido e adaptado de Geels (2004).

Experimentos em mudanças climáticas são sociotécnicos porque tentam mudar, intencionalmente, os arranjos materiais, culturas, normas e convenções que determinam as emissões de GEE e as vulnerabilidades climáticas na cidade (BULKELEY *et al.*, 2011). Desta forma, a perspectiva de transição sociotécnica multinível apresenta um arcabouço conceitual fecundo para compreender o processo de adoção de novas tecnologias permeadas por aspectos políticos, econômicos, sociais e culturais e atores heterogêneos com interesses particulares em todos os níveis (GEELS, 2012).



## 2 MÉTODOS DE PESQUISA

Por meio de uma abordagem qualitativa, este estudo faz uma revisão teórica a partir de dados secundários baseados nas principais fontes de informações macroeconômicas de organizações públicas brasileiras e internacionais sobre o setor de transportes e clima. O foco da revisão foi a natureza do processo de desenvolvimento e gestão de mobilidade em cidades inteligentes e seus efeitos associados à mitigação e adaptação aos impactos climáticos.

Para explorar empiricamente o potencial dessa abordagem, foram analisadas características e histórico da transição de baixo carbono na mobilidade de passageiros da cidade de São Paulo a partir da dinâmica do regime sociotécnico e seus atores (empresas, governo e sociedade civil).

Os principais argumentos teóricos foram aplicados com base em três objetivos:

- 1) identificar as características de tecnologias de transporte urbano de passageiros que visam mitigar e adaptar a emissão de CO<sub>2</sub>;
- 2) detectar quais atores e instituições estão envolvidos nessa dinâmica no âmbito do estudo de caso da cidade de São Paulo;
- 3) compreender a interseção dessas tecnologias na transição sustentável do sistema sociotécnico de mobilidade.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 ESTUDO DE CASO: OS DESAFIOS DA MOBILIDADE URBANA EM SÃO PAULO

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) é uma das maiores aglomerações urbanas do mundo, composta por 39 municípios e mais de 20 milhões de habitantes, concentrados em uma área urbanizada superior a 2.200 km<sup>2</sup>. Devido à sua extensão e densidade, a região padece de consequências negativas inerentes ao uso intensivo do transporte motorizado: poluição, congestionamentos, intervenções viárias, acidentes e mortes.

A maior participação de viagens com duração de mais de 60 minutos está no transporte coletivo, totalizando aproximadamente 6.054 mil viagens. Somente na cidade de São Paulo, entre 2010 e 2022, a frota de automóveis leves aumentou de 5 milhões para mais de 9 milhões (IBGE, 2022), representando cerca de 7,4 veículos para cada 10 habitantes paulistanos (CET, 2018). Em todo o país, a frota chegou a 60,4 milhões de automóveis em 2022 (MI, 2023). Esse crescimento é contínuo e, entre 2008 e 2018, a taxa de motorização no Brasil passou de 19,6 automóveis para cada 100 habitantes para 29,7 em 2018 (figura 12).



Figura 12. Série histórica de aumento da frota de automóveis no Brasil (2008-2018)



Fonte: Observatório das Metrôpoles com dados do Denatran (2019).

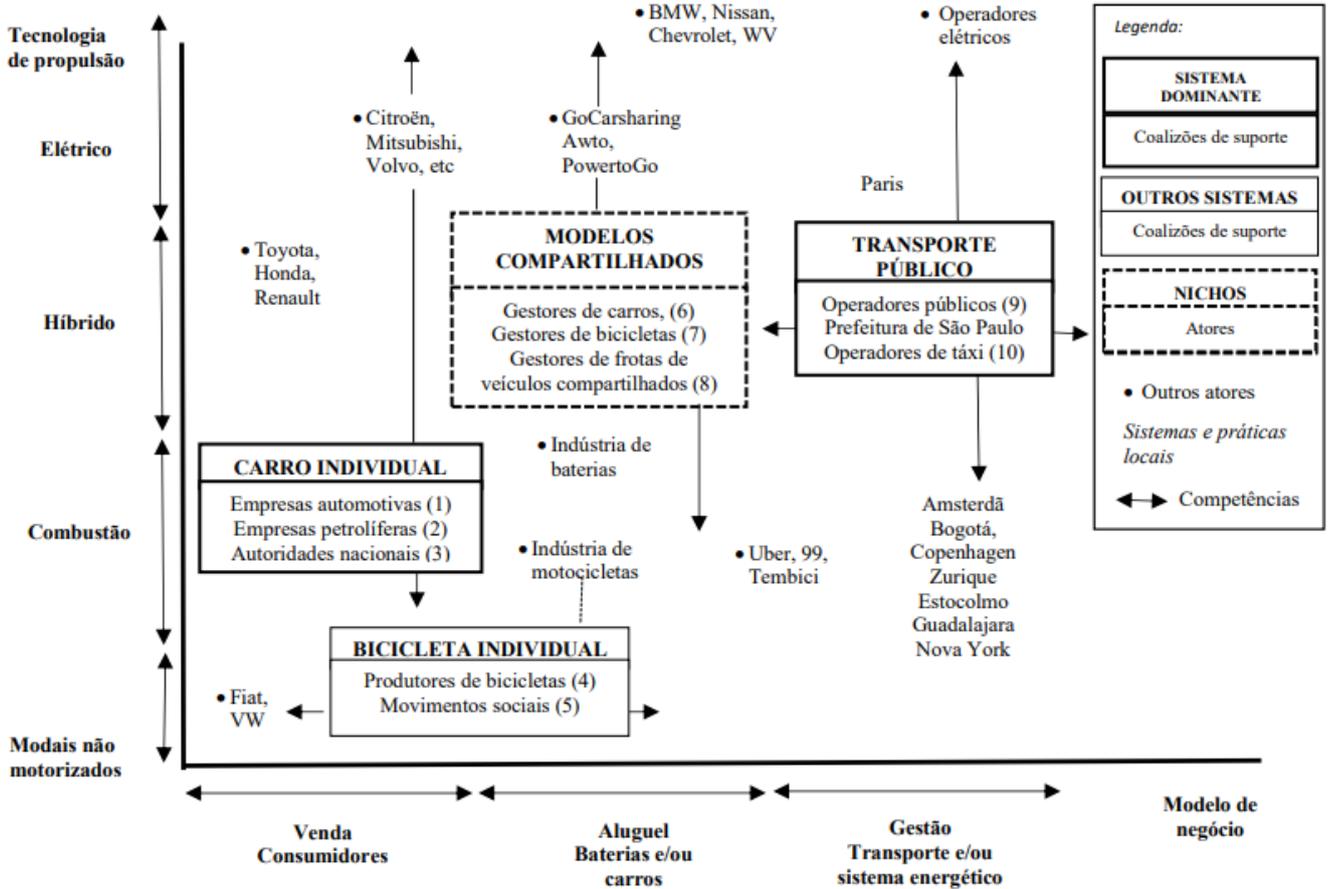
A discrepância entre o número de viagens nos modais coletivo e individual traduz o desequilíbrio territorial que reforça as desigualdades sociais ao “empurrar” os mais pobres para as franjas da cidade. Aqueles com menor renda, em sua maioria, utilizam o transporte coletivo diariamente, percorrendo grandes distâncias em um longo período de deslocamento para ir e voltar do trabalho, em geral localizado no centro expandido de São Paulo, onde estão concentradas as atividades econômicas.

### 3.2 ATORES E INSTITUIÇÕES

Esta seção usa a perspectiva multinível para analisar as oportunidades e barreiras para uma transição sociotécnica a partir da reconfiguração do sistema de transporte de baixo carbono na cidade de São Paulo com o levantamento de atores e instituições que compõem seu sistema de mobilidade. Após esse enquadramento por atores, a perspectiva multinível foi configurada para desvelar o sistema de mobilidade de baixo carbono conforme a abordagem de transição sociotécnica (figura 13; quadro 5).



Figura 13. Mapa sociotécnico do sistema de mobilidade de São Paulo



Fonte: Autoria própria, adaptado de Geels (2017).

Quadro 5. Levantamento de organizações e atores por modal complementar à figura 13

Sistema/Modal	Atores/Instituições	Empresas/Organizações
<b>CARRO INDIVIDUAL</b>	(1) Empresas automotivas	AGCO, Caterpillar, CNH New Holland, Chery, Chevrolet, Honda, Great Wall, Hyundai, Komatsu, Mercedes-Benz, Scania, Toyota, Valtra, VW, John Deere.
	(2) Empresas petrolíferas	Petrobras, Ecogen, Grupo Sol, Equinor, Karoon, Total, Shell, Cosan, BP do Brasil, Chevron, Engevix, Exxon Mobil, Maersk Oil, OGX, Nord Oil and Gas, Repsol Sinopec.
	(3) Autoridades nacionais	Secretaria Nacional de Mobilidade e Desenvolvimento Regional e Urbano, Departamento de Projetos de Mobilidade e Serviços Urbanos, Departamento Nacional de Trânsito (Denatran), Ministério das Cidades, Detran (Departamento de Trânsito).
<b>BICICLETA INDIVIDUAL</b>	(4) Produtores de bicicletas	Alvoteq, Athor Bikes, Dream Bike, GTSM1, KSW Bikes, Track Bikes, Vela Bikes, Vzan.
	(5) Movimentos sociais	Vá de Bike, Bicicletada, CicloBR, Ciclocidade, Pedal Verde, Pedalinas, União de Ciclistas do Brasil, Bike dos Anjos, Ciclistas do Brasil, Bike Tour SP, Ciclocentro, Sampa Bike, Bike Amigo.
<b>MODELOS COMPARTILHADOS</b>	(6) Gestores de carros	Uber, 99, MobilizaSP, PrimeYou, Lyft, BlaBlaCar, Waze Carpool, Zazcar, MoObi, Letz, Turbi, Lady Driver, inDrive.



<b>TRANSPORTE PÚBLICO</b>	(7) Gestores de bicicletas	Yellow, Chica, MoBike, Tembici, BikeSampa, CicloSampa/PegBike, Jump, Tembici, Bike Itaú, Scoo.
	(8) Gestores de frotas de veículos compartilhados	Turbi, Ostengo, BMW i3, Awto, Beepbeep, Joycar, Golfleet, Fleet Mobility, Plantech, NEXTFleet, Fleety, PegCar, ALD Sharing, Ucorp, Scoo, Riba Share.
	(9) Operadores públicos	Companhia Paulista de Trens Urbanos (CPTM), Metrô SP – Companhia do Metropolitano de São Paulo, ViaQuatro, Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos (EMTU), Companhia Brasileira de Trens Urbanos (CBTU); concessionárias de ônibus: Sambaíba, Consórcio Bandeirante de Mobilidade, Viação Metrôpole Paulista, Via Sudeste, Viação Metrôpole Paulista, Viação Gatusa, etc.
	Prefeitura de São Paulo	Secretaria Municipal de Mobilidade e Trânsito: Secretaria Executiva de Transporte e Mobilidade Urbana (SETRAM), Departamento de Transportes Públicos (DTP), Divisão de Inspeção e Fiscalização (DIF), Divisão de Cadastro e Controle do Transporte Diferenciado (DTD), Divisão de Transporte Escolar Gratuito (DTEG), Divisão de Transporte de Cargas (DTC), Divisão de Suporte à Fiscalização do Trânsito (DSUP), Conselho Municipal de Trânsito e Transporte (CMTT), Companhia de Engenharia de Tráfego (CET), São Paulo Transporte (SPTrans), entre outras divisões.
	(10) Operadores de táxi	Rádio Táxi, Associação Delta, Cooperativa UniãoServ, Táxi Top, Táxi Aviso, Italtaxi, Cooperativa MT, Use Táxi, Táxi Aviso, Teletáxi, Jowal, CooperTax.

Fonte: Elaboração própria, adaptado de Geels (2014, 2018).

### 3.2.1 Empresas

As montadoras de automóveis que receberam incentivos fiscais e financeiros nas últimas décadas enfrentam problemas para se manterem competitivas diante da subutilização de fábricas e pressões de custos, saturação do mercado em países desenvolvidos e novas gerações<sup>12</sup> menos interessadas em adquirir um carro. Em resposta, essas empresas se concentraram em custos, fusões, melhorias em eficiência de produção, economias emergentes e inovação tecnológica relacionada a desempenho, conforto e segurança (GEELS, 2018). As montadoras também enfrentam pressões da sociedade e dos governos quanto aos impactos da sua atuação sobre a variabilidade climática, principalmente em nível local, e buscam melhorar gradualmente seus motores a combustão e desenvolver veículos movidos a combustíveis alternativos ou elétricos. Resultados de uma pesquisa<sup>13</sup> divulgada em junho de 2023 com dados de 2022 reforçam o papel dos governos na agenda climática: 79% dos brasileiros se preocupam com as mudanças climáticas e 74% acham que a principal causa é a ação humana, sendo que a maioria acredita que a maior contribuição para resolver o problema deve

<sup>12</sup> Disponível em: <https://automotivebusiness.com.br/pt/posts/noticias/geracao-z-deixara-de-comprar-250-mil-carros-em-2030/>.

<sup>13</sup> Pesquisa Mudanças Climáticas na Percepção dos Brasileiros – 2022, realizada pela Inteligência em Pesquisa e Consultoria Estratégica (IPEC) a pedido do Instituto de Tecnologia e Sociedade do Rio (ITS). Disponível em [https://itsrio.org/wp-content/uploads/2023/06/221715\\_PERCEP%C3%87%C3%83O-SOBRE-QUEIMADAS\\_R3\\_15.03.pdf](https://itsrio.org/wp-content/uploads/2023/06/221715_PERCEP%C3%87%C3%83O-SOBRE-QUEIMADAS_R3_15.03.pdf). Acesso em 6 de julho de 2023.



vir dos governos e das empresas. Mais da metade dos 2,6 mil entrevistados afirmou ter votado em algum político por conta de suas propostas ambientais.

A relevância do setor imobiliário na economia do município de São Paulo é resultado do modelo de sua urbanização, marcado pela especulação imobiliária, no qual lotes centrais eram deixados vazios como investimentos e aqueles localizados em regiões periféricas eram vendidos para a população mais pobre. Esse processo resultou no crescimento fragmentado e no espalhamento da cidade (BACELLI *apud* BARBOSA, 2001). Como consequência, a acessibilidade espacial ainda gera congestionamentos, superlotação do transporte coletivo e falta de acesso a equipamentos públicos nas periferias, impulsionando a “exclusão territorial” (ROLNIK, 1999), já que a população mais vulnerável enfrenta viagens longas e desconfortáveis para trabalhar e acessar serviços urbanos.

A partir de 1920, o modelo rodoviário tornou-se o foco das políticas de desenvolvimento na cidade, privilegiando o transporte individual motorizado. No início do século XXI, o transporte coletivo recebeu uma abundância de investimentos públicos, mas grande parte foi gasta em subsídios em vez de aumentar a capacidade de transporte (ROLNIK; KLINTONWITZ, 2011).

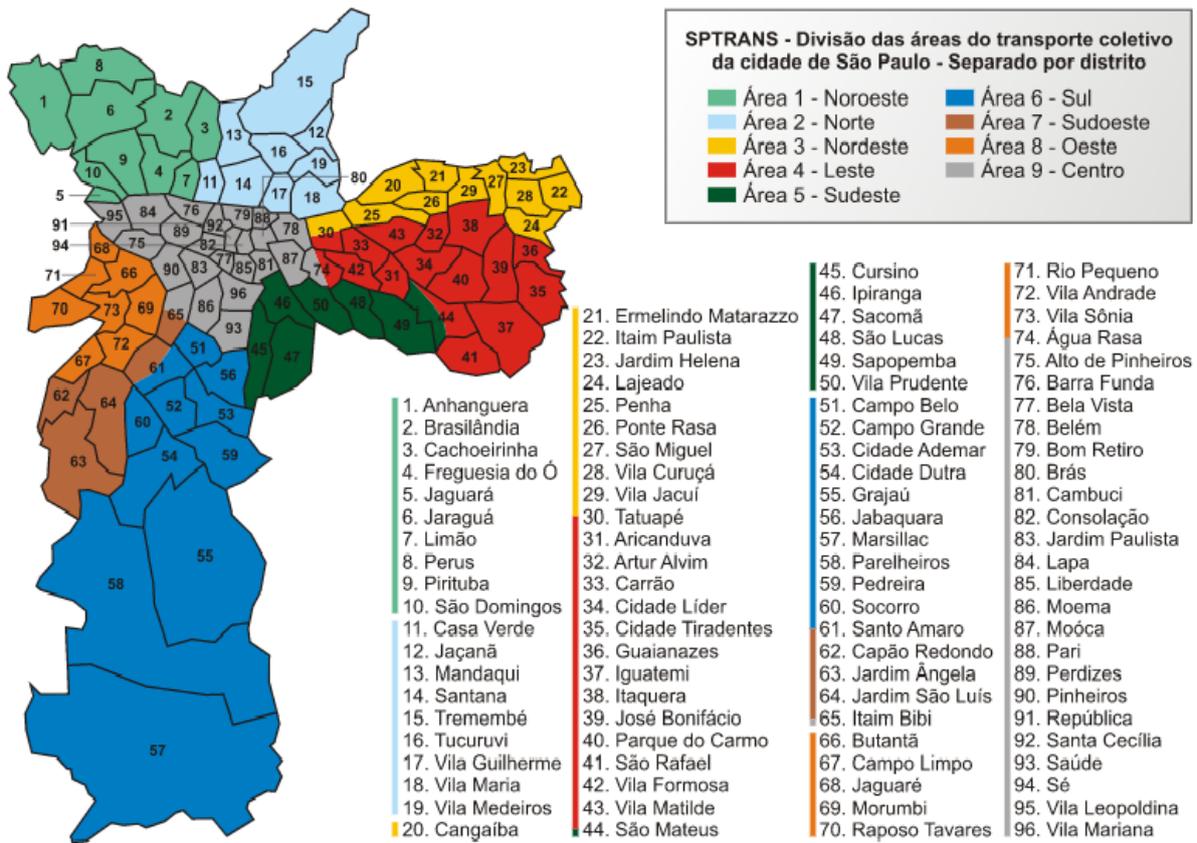
Desde o início, na década de 1950, a indústria automotiva no Brasil adotou a política de “substituição de importações”, que trouxe fábricas de multinacionais em vez de desenvolver tecnologias locais. Atualmente, o setor passa por um momento de crise, simbolizado pela saída da montadora norte-americana Ford do país, em 2019, onde estava desde 1919. Mas a aposta no setor continua a guiar ambições políticas, como o pacote bilionário de incentivos para a indústria automobilística em São Paulo, o IncentivAuto, que prevê descontos de até 25% no ICMS para empresas que investirem ao menos R\$ 1 bilhão em fábricas e no desenvolvimento de produtos. Outro exemplo recente é a aprovação, em nível federal, do projeto Rota 2030, que concede desoneração fiscal à indústria automobilística, com a contrapartida de investimentos em veículos elétricos e autônomos. Mas é relevante apontar que esse tipo de solução atende a apenas um problema ambiental: a queima de combustíveis fósseis. Independentemente da tecnologia, automóveis ocupam espaço, atendem a poucos e estimula o deslocamento em longas distâncias.

Quanto ao transporte público, circulam todos os dias pela capital paulista 11.312 ônibus, que transportam cerca de 2,15 milhões de passageiros, correspondendo a 65% da demanda registrada antes da chegada da pandemia. Um indicativo do impacto do distanciamento social decorrente da COVID-19 em termos de desemprego e mudança no modelo de trabalho.

Consoante o Sindicato das Empresas de Transporte Coletivo Urbano de Passageiros de São Paulo (SPUrbanuss), atualmente a cidade conta com 32 terminais de ônibus urbanos e 23 empresas concessionárias do transporte público autorizadas a operar em lotes, que dividem os 96 distritos em 9 áreas (figura 14).



Figura 14. Divisão dos lotes de concessionárias de coletivos por área e distritos



Fonte: Denis Gomes com dados da SPTrans. Creative Commons. Extraído de [https://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%A3o\\_Paulo\\_Transporte](https://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%A3o_Paulo_Transporte).

Nas linhas intermunicipais, 500 trajetos atendem às cidades da Região Metropolitana de São Paulo, gerenciados pelo Governo Estadual por meio da Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos (EMTU), com 19 mil pontos de parada. Já no sistema de trens, a Região Metropolitana conta com 74,3 km de vias férreas, distribuídas em cinco linhas ligadas por 64 estações (58 operadas pelo Metrô e 6 pela ViaQuatro), responsáveis por administrar 150 trens, que transportam quase 900 mil pessoas todos os anos.

Em relação a medidas para restringir o deslocamento e melhorar a mobilidade, o município instituiu o rodízio de veículos, também chamado de Operação Horário de Pico (Lei Municipal 12.490/1997), que limita a circulação de veículos automotores entre 7h e 10h, e das 17h às 20h, divididos por dia da semana e número de final de placas correspondentes. Mas uma das iniciativas mais celebradas foi o processo de instalação de ciclovias em 2014, chegando aos 667,1 quilômetros atuais, embora não seja uma política consistente em toda a cidade, já que a maioria dos pontos de coleta estão concentrados no centro expandido da cidade (figura 15).



Figura 15. Bicicletas compartilhadas do programa Bike Itaú no *campus* da Universidade de São Paulo



Foto: Marcos Santos/USP Imagens.

O Plano Ciclovitário da cidade de São Paulo prevê uma rede de 1.800 km até 2028, com prioridade de conexão com o transporte público e a ampliação da capilaridade da rede para todas as regiões da cidade (CET, 2023). Todavia, nota-se que a estratégia intermodal (carro, metrô e bicicleta) ainda é limitada às regiões centrais da cidade.

### 3.2.2 Sociedade civil

A (i)mobilidade na cidade de São Paulo é afetada pela má qualidade e desníveis nas calçadas e asfaltos, semáforos insuficientes ou danificados, falta de vias acessíveis, problemas de segurança para mulheres, pedestres e ciclistas, entre outras falhas de infraestrutura que inviabilizam o pleno uso do espaço público em modais ativos, como caminhada e bicicleta.

O custo das viagens é outro componente crítico. O Brasil está na 36ª posição do *ranking* de países com valor mensal de ônibus, metrô e trem mais caros do mundo. Considerando apenas o custo atual da tarifa municipal (R\$ 4,40), o gasto com transporte coletivo de ida e volta em 20 dias úteis representa cerca de 17% do salário-mínimo. Na comparação com grandes cidades, como Nova York (7,70%) e Paris (4,58%), o transporte é um dos serviços que mais oneram os trabalhadores brasileiros, segundo dados do Numbeo<sup>14</sup>. Ademais, a qualidade do transporte coletivo público de passageiros<sup>15</sup>

<sup>14</sup> Disponível em: <https://www.numbeo.com/cost-of-living/>.

<sup>15</sup> O transporte coletivo público de passageiros é serviço público essencial, e a organização e a prestação competem ao município, conforme disposto na Constituição Federal (artigo 30, inciso V) e na Lei Orgânica do Município de São Paulo



requer melhorias em todo o país, por ser sobrecarregado e com registros de acidentes rotineiros. O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) estima um custo de R\$ 50 bilhões em gastos relacionados a acidentes e mortes no trânsito, com 15% das internações em hospitais públicos de vítimas de acidentes de trânsito e 45 mil vítimas todos os anos (IPEA, 2015).

Entre 2007 e 2021, o Atlas da Acidentalidade no Transporte Brasileiro<sup>16</sup> contabilizou 1,9 milhão de acidentes, com um total de 104.745 mortes, 4.716 somente no Estado de São Paulo. No âmbito municipal, o índice de mortes divulgado pelo Observatório Mobilidade Segura<sup>17</sup> em 2020 foi de 806 mortes e sinistros de trânsito (6,56 mortes a cada 100 mil habitantes), o que motivou a Prefeitura a incluir no Programa de Metas<sup>18</sup> 2021-2024 o objetivo de reduzir esse índice para 4,5 mortes para cada 100 mil habitantes.

Outros prejuízos resultantes da falta de infraestrutura adequada de transporte afetam a produtividade e a saúde devido aos níveis de congestionamento, que na metrópole chegam a 1% do PIB brasileiro (CINTRA, 2014). Os gastos gerados pela perda produtiva por conta do trânsito em São Paulo passaram de R\$ 17 bilhões em 2002 para R\$ 40 bilhões em 2012. Ainda que a cidade ocupe a 48ª posição entre as que têm o pior trânsito do mundo, o paulistano fica, em média, 56 horas por ano parado no trânsito, em uma velocidade média de 22,4 km por hora (38 km/h em horários de pico). Assim, bem distante da líder no *ranking*, a cidade de Londres, em que os condutores podem passar até 156 horas por ano em congestionamentos (INRIX, 2022).

Os efeitos antropogênicos no clima em São Paulo puderam ser verificados a partir da pandemia de COVID-19. Na capital, a migração para cidades do litoral e interior e o fechamento de lojas e escritórios fizeram com que a poluição caísse 50% e o índice de poluentes que desencadeiam doenças respiratórias tivesse uma redução de 30% (CETESB, 2020). Além disso, houve queda de 31,3% de mortes em acidentes de trânsito (68 mortes contra 99) no Estado de São Paulo entre 24 e 31 de março de 2020, início da quarentena, como medida para enfrentar o coronavírus, na comparação com o período homólogo (INFOSIGA SP, 2020).

O modelo urbanístico da capital paulista apresenta diversos exemplos de políticas que privilegiam o veículo automotor em detrimento dos cidadãos. Um dos mais emblemáticos é o “Minhocão” (Elevado Presidente João Goulart), erguido em 1971 pelo então governador Paulo Maluf para solucionar problemas viários na interligação Leste-Oeste. Com 2,8 km de extensão, a via é alvo

---

(artigo 172). A organização desse serviço na cidade de São Paulo está descrita na Lei nº 13.241, de 12 de dezembro de 2001, que considera que o Poder Público está representado pela Prefeitura do Município de São Paulo por meio da Secretaria Municipal de Transportes (SPTRANS, 2023).

<sup>16</sup> Disponível em: <https://www.atlasacidentesnotransporte.com.br/>.

<sup>17</sup> Disponível em: <http://mobilidadesegura.prefeitura.sp.gov.br/>.

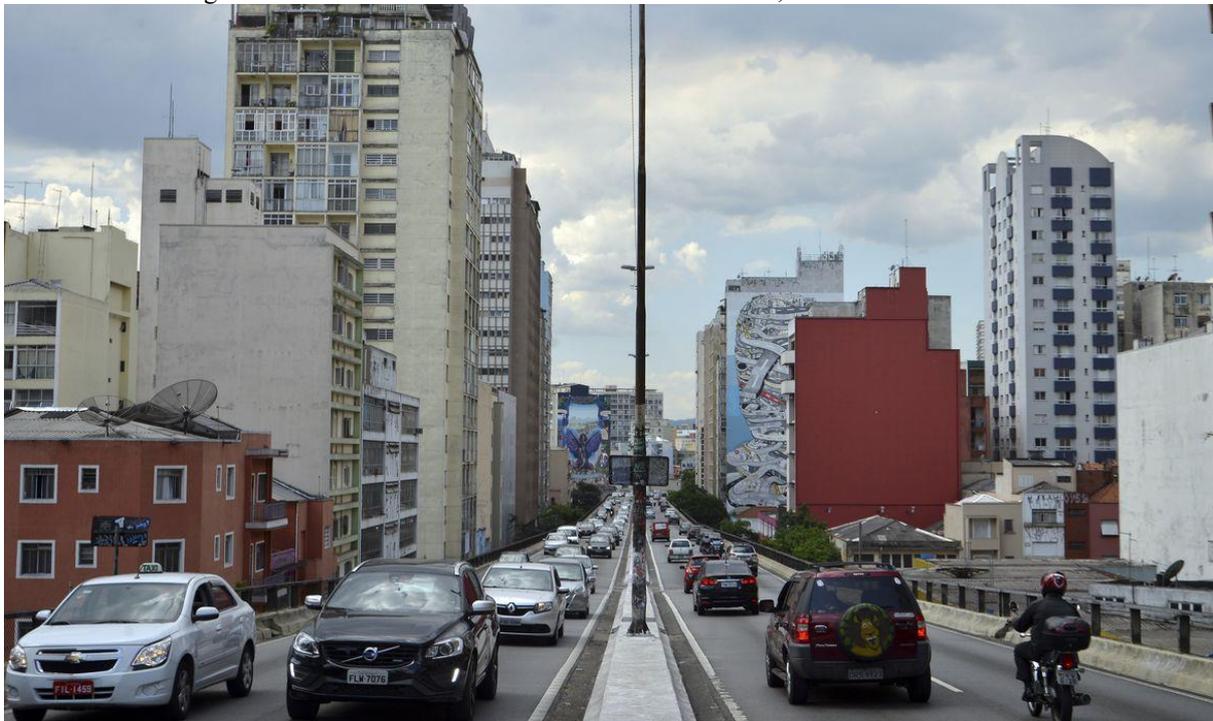
<sup>18</sup> O Plano de Metas é um instrumento de planejamento e gestão que auxilia as prefeituras a definir as prioridades e ações estratégicas do governo ao longo dos quatro anos de mandato. Disponível em [https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/governo/planejamento/programa\\_de\\_metas\\_20212024/](https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/governo/planejamento/programa_de_metas_20212024/). Acesso em 21 de abril de 2023.



de discussões sobre a sua relevância e por problemas gerados para os moradores da região. A sua derrubada foi aprovada pela Comissão de Constituição e Justiça em 2019 (PL 98/2018) e em 2021 o Tribunal de Justiça considerou procedente um pedido feito pelo Ministério Público para barrar a construção de um parque na região por falta de planejamento urbanístico no projeto da Prefeitura. Os vereadores, então, recorreram e o caso será julgado pelo Supremo Tribunal Federal (STF).

A criação de um parque no “Minhocão” é um indicador de que São Paulo avançou em políticas de direito à cidade. Em 2016, a Avenida Paulista passou a ser fechada a carros aos domingos e feriados, promovendo atividades culturais e de lazer em toda a sua extensão. O próprio Elevado (figura 16) é fechado para uso exclusivo de pedestres aos sábados, domingos e feriados.

Figura 16. Trânsito no Elevado Presidente João Goulart, no centro de São Paulo



Fonte: Rovena Rosa, Agência Brasil.

O setor de transportes também catalisou demandas de movimentos sociais, muitas mediadas pelas TICs, como acesso a informações e transparência de dados, pressão por aumento da oferta e redução de preço. As manifestações de 2013 organizadas pelas redes sociais emergiram da insatisfação da população com o aumento da passagem de ônibus. As “Jornadas de Junho”, como ficaram conhecidas, revelam novos formatos de participação popular e controle social mediados pela tecnologia (GIARETTA; DI GIULIO, 2018). Entretanto, embora o país conte com uma alta porcentagem da população com acesso à Internet<sup>19</sup>, há barreiras para a universalização do serviço, seja pelo custo de Internet móvel, seja por fragilidades técnicas (FÓRUM MOBI, 2018).

<sup>19</sup> O número de domicílios com acesso à Internet no Brasil chegou a 90%, segundo dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios. Em termos absolutos, são 65,6 milhões de domicílios conectados. No Estado de São Paulo a porcentagem



O uso intensivo de tecnologia, como a digitalização de serviços, os aplicativos, sensores e câmeras, especialmente no celular, gera um volume massivo de dados que ajudam a compreender a realidade e identificar novas demandas da população por serviços e produtos. A interpretação e o cruzamento desses dados, se usados de maneira estratégica, pode apoiar as tomadas de decisão em políticas a partir de uma análise sistêmica atualizada em tempo real. Entretanto, a necessidade de regulação do uso desses dados gera debate em torno da propriedade dessas informações. Nesse âmbito, o marco regulatório da Lei de Proteção de Dados (LGPD) – nº 13.709/2018 – tem em vista garantir a privacidade e a segurança dos usuários. Da mesma forma, Batty *et al.* (2012) indicam que as regulamentações governamentais devem proteger o desenvolvimento de dados e modelos, interfaces apropriadas, segurança de quem pode ou não acessar o material *online*, questões de confidencialidade, privacidade e direitos de propriedade intelectual em uma estrutura de cidade inteligente.

### 3.2.3 Governo

O transporte no Brasil é pautado como um direito do cidadão na Constituição Federal de 1988, que estabelece que o sistema de transporte público é serviço essencial, tendo sua gestão transferida aos municípios, mas sem mencionar a fonte de recursos para qualquer ente federado (VASCONCELLOS *et al.*, 2011).

A legislação esclarece as competências dos três níveis de governo: à União compete estabelecer leis e normas de trânsito; aos Estados licenciar veículos e motoristas; e aos municípios ser responsável pela construção e manutenção das vias públicas, regulamentar o uso, gerir o sistema e fiscalizar o cumprimento da legislação e normas de trânsito (OCDE, 2014). O orçamento da Secretaria Municipal de Mobilidade e Trânsito é de cerca de R\$ 5 bilhões e do Fundo Municipal de Desenvolvimento de Trânsito é próximo de R\$ 1,5 bilhão. Em 2021, porém, o custo operacional do transporte público foi de R\$ 7,7 bilhões, um desequilíbrio que reforça a lógica neoliberal que tende a gerar respostas seletivas aos riscos climáticos e um interesse limitado em mudar as condições estruturais do regime automotivo tradicional.

Ainda assim, as mudanças climáticas configuram parte da agenda de São Paulo. Em 2003, a cidade aderiu à campanha Cidades pelo Clima; em 2005, ingressou no *Cities Climate Leadership Group* (C40), entre as cidades comprometidas a reduzir as emissões de GEE e mitigar impactos climáticos. Ambas as redes incentivaram o município a assumir outros compromissos, incluindo um inventário de GEE (SETZER *et al.*, 2015), o que denota que a pressão de organizações internacionais estimula o comprometimento socioambiental em nível local.

---

é de 85% (13,2 milhões de residências). No entanto, 28,2 milhões de brasileiros (3,6 milhões deles, estudantes) ainda não estão conectados (IBGE, 2022).



Por ser uma cidade global, São Paulo é fonte de inovação e grandes transformações, liderando os processos de adaptação no país (BARBI, 2018; SETZER *et al.*, 2015; DI GIULIO *et al.*, 2017; MARTINS; FERREIRA, 2011). Em 2009, tornou-se a primeira cidade brasileira a lançar uma Política de Mudança do Clima com metas que incluem a obrigatoriedade de redução de emissões. Essa iniciativa influenciou a aprovação da Política do Estado de São Paulo que, por sua vez, motivou a criação da política nacional sobre mudanças climáticas (BARBI; FERREIRA, 2013).

Outras políticas ambientais se somam a essa agenda: a Política de Compras Verdes (2007), o Plano de Controle de Poluição Veicular (2007) e o Plano Setorial de Transporte e de Mobilidade Urbana para Mitigação da Mudança do Clima (2013). Mais recentemente, lançou o Comitê Gestor do Programa de Acompanhamento da Substituição de Frota por Alternativas mais Limpas (2019) e, em junho de 2021, o Plano de Ação Climática do Município de São Paulo (PlanClima), desenvolvido em parceria com a C40, com 43 ações para zerar as emissões de GEE até 2050, cujas estratégias incluem melhorias de “caminhabilidade” no percurso ao ponto de ônibus, até o aumento de atratividade do sistema municipal de ônibus (quadro 6).

Quadro 6. Medidas de adaptação e mitigação no setor de transporte urbano de passageiros e diretrizes da Política Setorial de Transportes

Medidas de adaptação	Medidas de mitigação	Iniciativas locais – São Paulo
<ul style="list-style-type: none"> <li>. Novos modais de transporte e infraestrutura mais inteligente;</li> <li>. Sistemas de emergência hídrica para túneis e metrô;</li> <li>. Adequação de rodovias e diques para criar compartimentos;</li> <li>. Proteção de infraestrutura;</li> <li>. Desenhar o ordenamento do território – construir novas habitações e infraestruturas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Combustíveis mais eficientes;</li> <li>. Linhas rápidas de ônibus BRT;</li> <li>. Estagnação do volume absoluto de veículos;</li> <li>. Gerenciamento ativo do tráfego de veículos;</li> <li>. Promoção do transporte público;</li> <li>. Maior utilização de combustíveis alternativos;</li> <li>. Melhoria tecnológica de veículos e motores;</li> <li>. Planejamento urbano.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Plano de Controle de Poluição Veicular – PCPV (2011);</li> <li>. Instalação de sistemas inteligentes de tráfego para veículos e rodovias;</li> <li>. Pesquisa Origem/Destino da Movimentação de Cargas e Passageiros no Município de São Paulo, cujos resultados subsidiam medidas de otimização de viagens e fluidez do trânsito;</li> <li>. Restrição ao Trânsito de Veículos Automotores no Município de São Paulo (Rodízio Municipal de Veículos) – Lei Municipal nº 12.490/97 e Decreto nº 37.085/97;</li> <li>. Novos modais de viagens estão em implantação, como linhas de metrô e BRTs;</li> <li>. Ampliação da oferta de transporte público e estímulo ao uso de meios de transporte com menor potencial poluidor e emissor de gases de efeito estufa;</li> <li>. Programa ECOFROTA, que introduz na frota de transporte público do município ônibus que utilizem tecnologias menos poluentes (Lei nº 14.933/09);</li> <li>. Estímulo ao transporte não motorizado, com ênfase no uso da bicicleta;</li> <li>. Implantação de corredores e faixas exclusivas de ônibus coletivos e trólebus (570 km de faixas exclusivas e 131,2 km de corredores até 2022) – SPTrans (2023);</li> <li>. Regulamentação de circulação, parada e estacionamento de ônibus fretados por meio de portarias da SMT;</li> <li>. Faixas exclusivas para veículos com taxa de ocupação igual ou superior a dois passageiros;</li> <li>. A PMSP só adquire ou contrata serviços de transporte com veículos <i>flex</i> e utilização de etanol;</li> </ul>



		<ul style="list-style-type: none"><li>· A PMSM, por meio da SMT, firmou protocolo de intenções com a ELETROPAULO e a RENAULT/NISSAN com o intuito de estudar e viabilizar projetos que possibilitem a introdução do veículo elétrico na cidade de São Paulo;</li><li>· A SMT, por meio da CET, vem substituindo as lâmpadas dos grupos semafóricos por LEDs;</li><li>· Programa de Inspeção e Manutenção Veicular para toda a frota de veículos automotores, inclusive motocicletas.</li></ul>
--	--	--

Fonte: Adaptado de Koetse e Rietveld (2012), Wolff *et al.* (2017); Plano Setorial de Transporte e de Mobilidade Urbana para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima (PSTM, 2013); Secretaria Nacional de Mobilidade e Desenvolvimento Regional e Urbano (SEMOB, 2019).

No transporte, a Prefeitura também investe em conectividade, e entre as soluções mais reconhecidas está o sistema de Bilhete Único, que permite a integração tarifária do transporte público na Região Metropolitana. Com o controle eletrônico, é possível a integração gratuita entre quatro ônibus municipais em um período de até três horas, além de desconto na integração com o sistema sobre trilhos (SPTRANS, 2023). É válido mencionar que a esta inovação de nicho também é imputada a culpa pela possível eliminação de postos de trabalho de cobradores e metroviários. Em 2021, por exemplo, o governo anunciou o fechamento das bilheteria das estações do Metrô e da CPTM com a expectativa de economizar R\$ 100 milhões por ano e modernizar os meios de pagamento, que poderia ser realizado via aplicativo, celular e máquinas de autoatendimento instaladas nas estações. Contudo, houve diversas reclamações de passageiros sobre problemas técnicos e falta de papel para imprimir o bilhete, e até acusações de exclusão digital, pois muitos dos usuários não tinham familiaridade com esses dispositivos. Outros serviços de transporte foram digitalizados com rápida adesão pela população, como a Zona Azul Digital da CET em São Paulo (estacionamento rotativo pago da Prefeitura) – que antes era controlado por papel e fiscalização presencial – e o Sem Parar, meio de pagamento automático de pedágios, estacionamentos e postos de combustíveis.

Para estimular essa agenda de inovação, a Prefeitura criou o Laboratório de Inovação Aberta em Mobilidade Urbana (MobiLab+), por meio da Secretaria de Inovação e Tecnologia e da Empresa de Tecnologia da Informação e Comunicação do Município de São Paulo (PRODAM). O projeto funciona como um laboratório para novas soluções, em parceria com *startups*<sup>20</sup>, para incorporar novas tecnologias à gestão da mobilidade urbana. Paralelamente, a Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos (EMTU) criou o [E] LAB para pesquisar inovações tecnológicas focadas na eficiência do transporte por ônibus.

O crescimento exponencial de soluções tecnológicas e aplicativos (quadro 7) trata a mobilidade sob a perspectiva de um serviço (*Mobility as a Service* – MaaS), termo que define a revolução digital

<sup>20</sup> *Startup* é uma empresa nova com um modelo de negócio escalável que nasce em torno de uma ideia inovadora e em condições de incerteza para provocar um impacto positivo na sociedade, seja com um produto ou um serviço que resolve um problema. Fonte: Sebrae. Disponível em <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-que-e-uma-startup,6979b2a178c83410VgnVCM1000003b74010aRCRD>. Acesso em 8 de abril de 2023.



na indústria dos transportes, vista como um ecossistema de serviços agregados para conectar pessoas e atividades no espaço urbano eficientemente (KARLSSON *et al.*, 2020; KAMARGIANNI *et al.*, 2016) e centrado no usuário (GOODALL *et al.*, 2017).

Quadro 7. Inovações em mobilidade

Tipo de solução	Aplicativos
Monitoramento do transporte e planejamento de rotas	Moovit, Coletivo, CittaMobi, Onde está meu ônibus?, Cadê o ônibus?, Busão SP, Vá de ônibus, Urbanoide, ÔnibusSP e Trafi
Aplicativos para pessoas com deficiência informando a qualidade de acessibilidade do transporte e de calçadas	Guia de Rodas, BioMob
Uso mais eficiente do veículo individual	Easy Taxi, 99, Uber, Sidecar, Lyft e Lady Driver, inDrive
Compartilhamento de caronas	Zipcar, Blablacar, Autolib, Caronetas, Bynd e Zump
Aluguel de carro entre particulares	Moobie, Zipcar, Communauto, Zazcar, DriveNow, Lya, AutoLib, Car2Go
Sistemas de compartilhamento de bicicletas	Yellow, Chica, MoBike, Tembici, BikeSampa, CicloSampa
Denúncias de assédio no transporte	Chega de fii fii, Mapa do Acolhimento
Caronas corporativas	Bynd, Coletivo Corporativo, WiiMove
Dados abertos sobre transporte	Citymapper, OpenStreetMap, Google Maps, Waze

Fonte: Adaptação própria.

Pesquisa do Fórum Mobi (2018) indica que a cidade de São Paulo conta com a maior quantidade de usuários e usuárias de aplicativos de mobilidade do mundo (3,5 milhões). São 500 milhões de quilômetros monitorados mensalmente, o que levou a empresa de geotecnologia Waze a fazer uma parceria com a Prefeitura de São Paulo para disponibilizar os dados produzidos para monitoramento público, permitindo, por exemplo, que os usuários reportem problemas de sinalização, garantindo agilidade na intervenção técnica da Prefeitura.

Este cenário sugere que uma política de transporte de baixo carbono deve ser mais fortemente incentivada em nível local, onde é possível efetuar uma mudança mais sistêmica e intensa na integração de modais. Isso exigiria uma governança multinível robusta com o governo, em nível nacional, mais envolvido no debate de políticas e financiamentos para os municípios. Neste caso, a horizontalidade nas tomadas de decisão entre planejadores urbanos, gestores de transporte, finanças, meio ambiente, compras e inovação tem o potencial de fazer emergir políticas públicas mais eficazes na ação climática, integrando paralelamente a governança multiatores para a população ter voz em suas demandas por mobilidade. Neste quesito, as tecnologias digitais têm um papel fundamental nas transformações urbanas, influenciando novas formas de governança, já que o acesso ampliado à Internet e a plataformas tecnológicas e de dados abertos tende a fortalecer a democracia participativa e a ação política. Um exemplo positivo dessa prática é o do Plano Diretor Estratégico de São Paulo<sup>21</sup> (PDE),

<sup>21</sup>O Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo é uma lei municipal criada em 2014 para orientar o desenvolvimento e o crescimento da cidade até 2029. Elaborado com a participação da sociedade, o PDE direciona as ações dos produtores do espaço urbano, públicos ou privados, para que o desenvolvimento da cidade seja feito planejadamente e



que incentiva a participação popular, incluindo grupos heterogêneos, como movimentos sociais, representantes do mercado, acadêmicos e ambientalistas.

Entre as cidades brasileiras que usam a tecnologia para promover um desenvolvimento urbano mais próximo do cidadão, São Paulo ocupou o primeiro lugar no *ranking Connected Smart Cities 2021*<sup>22</sup> por dois anos consecutivos (2020 e 2021). Elaborado pela Urban Systems, o *ranking* mapeia todos os 677 municípios brasileiros com mais de 50 mil habitantes para identificar as cidades com maior potencial de desenvolvimento inteligente do Brasil a partir de 75 indicadores, como conectividade, serviço público digitalizado e mobilidade.

No quesito Mobilidade e Acessibilidade, o município também se sobressai pela diversidade de modais e inovações, como o bilhete eletrônico, semáforos inteligentes, 600 km de ciclovias, e uma frota de veículos de baixa emissão. Em contraposição, no eixo Governança, que considera participação, investimentos e transparência, a cidade está na posição 70, com baixa pontuação em Transparência e Lei de Zoneamento e Uso do Solo, ainda em fase de atualização (CONNECTED SMART CITIES, 2022). Em março de 2023, a Prefeitura de São Paulo iniciou o cadastramento de motoristas para o *mobizapSP*<sup>23</sup>, um aplicativo de viagens compartilhadas baseado em inteligência artificial e com preços menores se comparado com outras plataformas.

Conclui-se, portanto, que uma reconfiguração profunda no sistema de transporte local é ainda dificultada por relações de poder assimétricas entre os níveis nacional e local e que a política de mobilidade de São Paulo segue orientada pelo interesse das grandes empresas automotivas por uma dependência tributária. Esse padrão ajuda a explicar, por exemplo, as recorrentes alterações em projetos de lei ambientalmente favoráveis, com a extensão de prazos de regulamentação de níveis de poluição no transporte público. Desta forma, é possível inferir que o regime de mobilidade deve permanecer fortalecido e que a transferência modal se mantenha limitada, incluindo políticas de transporte mais estruturais (ciclovias, ônibus híbridos, cidades compactas). Uma das explicações para essa tendência é que o financiamento do setor é fragmentado e, muitas vezes, remanejado para outras prioridades. Essas mudanças são, em geral, associadas às trocas de gestão governamental e interesses políticos difusos, impedindo o aumento de escala por falta de planejamento e comprometimento político de longo prazo, pois torna difícil para as autoridades municipais planejar com décadas de antecedência (BAI *et al.*, 2018).

---

atenda às necessidades coletivas de toda a população. Disponível em <https://gestaourbana.prefeitura.sp.gov.br/marco-regulatorio/plano-diretor/>. Acesso em 21 de abril de 2023.

<sup>22</sup> Disponível em: <https://connectedsmartcities.com.br/>.

<sup>23</sup> Disponível em: <https://mobizapsp.com.br/>.



## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste artigo sugerem que inovações disruptivas de nicho, como veículos elétricos e autônomos, ainda não contribuíram para a redução das emissões na cidade de São Paulo, ao estarem distantes de serem escaladas. Contudo, inovações incrementais em biocombustíveis, compartilhamento de viagens e regulações no controle de emissões veiculares trouxeram melhorias efetivas para mitigar e adaptar os impactos climáticos relacionados à mobilidade no município.

Ainda assim, para cumprir as metas de redução de CO<sub>2</sub> no longo prazo, o sistema de mobilidade paulistano requer uma transição estruturada, considerando as dimensões técnicas na interseção com atores e instituições impactados pelo setor de transportes. Lah (2018) assinala que muitas pesquisas sobre transição sociotécnica concentram-se em inovações de nicho, que podem inferir erroneamente que são elas que impulsionam as transformações em estruturas sociais convergentes com a tecnologia. Não obstante, essa é apenas uma das forças motrizes na reconfiguração do sistema em sua totalidade, e não necessariamente a mais importante. Algumas inovações que não são necessariamente consideradas tecnológicas, como cidades de 15 minutos<sup>24</sup> e ciclovias, ainda são incipientes no Brasil, mas já são amplamente difundidas em países como França, Holanda e Dinamarca, que de forma prática impulsionaram o reordenamento urbano.

Em termos de generalização, a estruturação de um sistema de mobilidade inteligente e sustentável pode ser aplicada a outros sistemas que, marcadamente, afetam a variabilidade climática, como agricultura, construção civil, resíduos sólidos e saneamento. Mas a análise empírica foi interpretada conforme as especificidades do estudo de caso.

O artigo apresenta limitações que pesquisas futuras podem abordar. Primeiramente, pode-se aprofundar algumas soluções de nicho com potencial para reconfigurar os sistemas de transporte sustentável, como carros e bicicletas compartilhados, carros autônomos e aplicativos de mobilidade na cidade de São Paulo. Outras perguntas de pesquisa em relação a cobenefícios na transição do transporte de baixo carbono poderiam ser investigadas, como a correlação entre saúde e poluição do ar, congestionamentos e impactos socioeconômicos, acessibilidade e mobilidade ativa, ou uso do solo e estacionamentos, considerando múltiplas escalas e práticas sociais e culturais.

Em suma, estudos centrados nos atores e instituições de um sistema sociotécnico podem impulsionar mudanças em políticas, regulações e governança para apoiar os processos de tomadas de decisão a partir de redes e coalizões com poder para apoiar ou vetar inovações (GEELS, 2014). Com isso, a governança multinível tem o potencial de coproduzir conhecimentos que podem gerar e redistribuir recursos e incentivos que estimulem a escalabilidade de inovações de nicho e mobilizem políticas públicas aderentes a uma economia neutra em carbono.

---

<sup>24</sup> Moreno *et al.* (2021) definem como “cidade de 15 minutos” uma abordagem para construir uma nova forma de viver nas cidades, na qual a maioria das necessidades diárias pode ser atendida a pé ou de bicicleta.



## AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Processo n.º 88882.180307/2018-01.



## REFERÊNCIAS

- AHVENNIEMI, Hannele; HUOVILA, Aapo; PINTO-SEPPÄ, Isabel; AIRAKSINEN, Miimu. What are the differences between sustainable and smart cities? *Cities*, [S.L.], v. 60, p. 234-245, fev. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cities.2016.09.009>. Acesso em: 14 mar. 2023.
- ANFAVEA. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (Brasil). Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2023 - Reindustrialização. [S.l.]: ANFAVEA, 2023. Disponível em: <https://anfavea.com.br/anuario2023/2023.pdf>. Acesso em: 4 abr. 2023.
- BAI, Xuemei; DAWSON, Richard J.; ÜRGE-VORSATZ, Diana; DELGADO, Gian C.; BARAU, Aliyu Salisu; DHAKAL, Shobhakar; DODMAN, David; LEONARDBSEN, Lykke; MASSON-DELMOTTE, Valérie; ROBERTS, Debra C. Six research priorities for cities and climate change. *Nature*, [S.L.], v. 555, n. 7694, p. 23-25, 27 fev. 2018.
- BANISTER, David. The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy*, [S.L.], v. 15, n. 2, p. 73-80, mar. 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2007.10.005>. Acesso em: 14 mar. 2023.
- BARBI, F. Governando as Mudanças Climáticas nas Cidades: Riscos e Respostas Políticas. *Diálogos interdisciplinares sobre a Governança Ambiental da Macrometrópole Paulista*. FAPESP. 2018.
- BARBI, F; COSTA FERREIRA, L. da. Climate change in Brazilian cities: Policy strategies and responses to global warming. *International Journal of Environmental Science and Development*, v. 4, n. 1, p. 49-51, 2013. Disponível em: <http://ijesd.org/papers/301-H0001.pdf>. Acesso em: 15 maio 2023.
- BARBIERI, M. D; FERREIRA, L. D. C. Mudanças climáticas e governança ambiental: desafio do Antropoceno. *Diálogos do Antropoceno. ClimaCom Cultura Científica - pesquisa, jornalismo e arte*, v. 5, n. 12, jul 2018. Disponível em: [http://climacom.mudancasclimaticas.net.br/wp-content/uploads/2018/08/A2\\_Mudancas\\_climaticas\\_e\\_governanca\\_ambiental.pdf](http://climacom.mudancasclimaticas.net.br/wp-content/uploads/2018/08/A2_Mudancas_climaticas_e_governanca_ambiental.pdf). Acesso em: 15 maio 2023.
- BARBOSA, Eunice. Evolução do uso do solo residencial na área central do município de São Paulo. 2001. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- BATTY, M.; AXHAUSEN, K. W.; GIANNOTTI, F.; POZDNOUKHOV, A.; BAZZANI, A.; WACHOWICZ, M.; OUZOUNIS, G.; PORTUGALI, Y.. Smart cities of the future. *The European Physical Journal Special Topics*, [S.L.], v. 214, n. 1, p. 481-518, nov. 2012. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1140/epjst/e2012-01703-3>.
- BIANCHI, Camille et al. O impacto da inovação tecnológica na mobilidade urbana da cidade de São Paulo. [São Paulo]: Fórum Mobi, 2018.
- BONDOROVÁ, B; ARCHER, G. Does sharing cars really reduce car use. *Transport & Environment*, [S. l], p. 1-8. 2017.
- BOUTON, S; HANNON, E; KNUPFER, S; RAMKUMAR, S. The future (s) of mobility: How cities can benefit. EUA: McKinsey Global Institute, 2017.
- BRASIL. Ministério dos Transportes. Ministério das Cidades. Plano Setorial de Transporte e de Mobilidade Urbana para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima (PSTM). Brasília: Ministério dos Transportes, 2013.



BROTO, Vanesa Castán; BULKELEY, Harriet. A survey of urban climate change experiments in 100 cities. *Global Environmental Change*, [S.L.], v. 23, n. 1, p. 92-102, fev. 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.07.005>. Acesso em: 15 maio 2023.

BULKELEY, Harriet; BETSILL, Michele M. Revisiting the urban politics of climate change. *Environmental Politics*, [S.L.], v. 22, n. 1, p. 136-154, fev. 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/09644016.2013.755797>. Acesso em: 15 maio 2023.

BULKELEY, H. et al. The role of institutions, governance, and urban planning for mitigation and adaptation. In: BULKELEY, H. et al. *Cities and climate change: Responding to an urgent agenda*. . Herndon, VA, USA: World Bank Publications, 2011. cap. 5. p. 125-159.

CANITEZ, Fatih. Pathways to sustainable urban mobility in developing megacities: a socio-technical transition perspective. *Technological Forecasting And Social Change*, [S.L.], v. 141, p. 319-329, abr. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2019.01.008>. Acesso em: 15 maio 2023.

CARAGLIU, Andrea; BO, Chiara F. Del. Smart Innovative Cities: The Impact Of Smart City Policies On Urban Innovation. *Technological Forecasting And Social Change*, [S.L.], V. 142, P. 373-383, Maio 2019. Disponível em: [Http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Techfore.2018.07.022](http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Techfore.2018.07.022). Acesso em: 15 maio 2023.

CASTELLS, M. *A sociedade em rede*. São Paulo: Paz e terra. 2007.

CINTRA, Marcos. Os custos do congestionamento na capital paulista. *Conjuntura Econômica*, p. 30-33, jun. 2008.

COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO (São Paulo, SP). Multas: informações gerais. [201-]. Disponível em: <http://www.cetesp.com.br/consultas.aspx>. Acesso em: 12 mar. 2023.

CNT. CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (Brasil)b. Anuário CNT dos Transportes 2022 - estatísticas consolidadas. Brasília, DF: CNT, [2022]. Disponível em: <https://cdn.cnt.org.br/>. Acesso em: 4 abr. 2023.

CRUTZEN, Paul J.; STOERMER, Eugene F. The ‘Anthropocene’ (2000). Paul J. Crutzen And The Anthropocene: A New Epoch in Earth’s History, [S.L.], p. 19-21, 2021. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-82202-6\\_2](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-82202-6_2).

DALKMANN, H.; BRANNIGAN, C. *Transport and climate change - Module 5e: Sustainable Transport: A Sourcebook for Policy-Makers in Developing Cities*. Eschborn: Deutsche Gesellschaft Fuer Technische Zusammenarbeit (GTZ), 2007.

DEAKIN, M.; AL WAER, H. From intelligent to smart cities. *Intelligent Buildings International*, 3 (3), 140–152. 2011.

DEWULF, Art; MEIJERINK, Sander; RUNHAAR, Hens. Editorial: The Governance Of Adaptation To Climate Change As A Multi-Level, Multi-Sector And Multi-Actor Challenge. *Journal Of Water And Climate Change*, [S.L.], v. 6, v. 1, P. 1-8, 1 mar. 2015. Disponível Em: <http://Dx.Doi.Org/10.2166/Wcc.2014.000>.

DI GIULIO, G. M; BEDRAN-MARTINS, A. M; DA PENHA VASCONCELLOS, M; RIBEIRO, W. C. Mudanças climáticas, riscos e adaptação na megacidade de São Paulo, Brasil. *Sustainability in Debate*, v. 8, n. 2, p. 75-87, 2017.



EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional - relatório síntese 2022 - ano Base 2021. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, [2022].

FULTON, L.; MASON, J.; MEROUX, D. (2017). Three revolutions in urban transportation: how to achieve the full potential of vehicle electrification, automation, and shared mobility in urban transportation systems around the world by 2050. [S.l.]: UC DAVIS/ITDP, [20-?]. Disponível em: <https://steps.ucdavis.edu/wp-content/uploads/2017/05/ITDP-3R-Report-v6.pdf>. Acesso em: 15 maio 2023.

GEELS, Frank W. Socio-technical transitions to sustainability: a review of criticisms and elaborations of the multi-level perspective. *Current Opinion In Environmental Sustainability*, [S.L.], v. 39, p. 187-201, ago. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2019.06.009>. Acesso em: 15 maio 2023.

GEELS, Frank W.. Low-carbon transition via system reconfiguration? A socio-technical whole system analysis of passenger mobility in Great Britain (1990–2016). *Energy Research & Social Science*, [S.L.], v. 46, p. 86-102, dez. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.erss.2018.07.008>. Acesso em: 15 maio 2023.

GEELS, Frank W. A socio-technical analysis of low-carbon transitions: introducing the multi-level perspective into transport studies. *Journal Of Transport Geography*, [S.L.], v. 24, p. 471-482, set. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.01.021>.

GEELS, Frank W. The multi-level perspective on sustainability transitions: responses to seven criticisms. *Environmental Innovation And Societal Transitions*, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 24-40, jun. 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eist.2011.02.002>. Acesso em: 15 maio 2023.

GEELS, Frank W.; SCHOT, Johan. Typology of sociotechnical transition pathways. *Research Policy*, [S.L.], v. 36, n. 3, p. 399-417, abr. 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2007.01.003>.

GIARETTA, Juliana Barbosa Zuquer; GIULIO, Gabriela Marques di. O papel das tecnologias de comunicação e informação (TIC) no urbano do século XXI e na emergência dos novos movimentos sociais. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, [S.L.], v. 20, n. 1, p. 161, 30 nov. 2017.

GIDDENS, Anthony. *Elements of the theory of structuration*. [United Kingdom]: Routledge. 1984.

GIFFINGER, R. et al. City-ranking of European medium-sized cities. *Cent. Reg. Sci.*, Vienna UT, n. 9, p. 1-12, 2007. Disponível em: [https://www.smart-cities.eu/download/city\\_ranking\\_final.pdf](https://www.smart-cities.eu/download/city_ranking_final.pdf). Acesso em: 15 maio 2023.

HUGHES, P. T. The evolution of large technological systems. In: Bijker, W. E.; Hughes, T. P.; PINCH, T. P. (Eds.). *The social construction of technological systems: new directions in the sociology and history of technology*. Cambridge: MIT Press, 1989.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. PNAD - Contínua Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios: Tabelas 2022. [ibge.gov.br](http://ibge.gov.br), [2022].

INRIX 2022 Global Traffic Scorecard. Disponível em: <https://inrix.com/scorecard/>. Acesso em: 10 abr. 2023.



KERN, Florian. Using the multi-level perspective on socio-technical transitions to assess innovation policy. *Technological Forecasting And Social Change*, [S.L.], v. 79, n. 2, p. 298-310, fev. 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2011.07.004>. Acesso em: 15 maio 2023.

KITCHIN, Rob. Making sense of smart cities: addressing present shortcomings. *Cambridge Journal Of Regions, Economy And Society*, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 131-136, 21 out. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1093/cjres/rsu027>. Acesso em: 15 maio 2023.

KOETSE, Mark J.; RIETVELD, Piet. Adaptation to Climate Change in the Transport Sector. *Transport Reviews*, [S.L.], v. 32, n. 3, p. 267-286, maio 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/01441647.2012.657716>. Acesso em: 15 maio 2023.

LAH, Oliver. Trends, Drivers, and Pathways for Sustainable Urban Mobility. *Sustainable Urban Mobility Pathways*, [S.L.], p. 1-22, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-814897-6.00001-6>. Acesso em: 15 maio 2023.

MARTINS, R. D. A; FERREIRA, L. D. C. Oportunidades e barreiras para políticas locais e subnacionais de enfrentamento das mudanças climáticas em áreas urbanas: evidências de diferentes contextos. *Ambiente & Sociedade, Campinas*, v. 8, n. 2, p. 223-242, 2010.

MARLETTO, Gerardo. Car and the city: socio-technical transition pathways to 2030. *Technological Forecasting and Social Change*, [S.L.], v. 87, p. 164-178, set. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2013.12.013>. Acesso em: 15 maio 2023.

NAKAMURA, Kazuki; HAYASHI, Yoshitsugu. Strategies and instruments for low-carbon urban transport: an international review on trends and effects. *Transport Policy*, [S.L.], v. 29, p. 264-274, set. 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.07.003>. Acesso em: 15 maio 2023.

NAM, Taewoo; PARDO, Theresa A.. Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. *Proceedings Of The 12Th Annual International Digital Government Research Conference: Digital Government Innovation in Challenging Times*, [S.L.], p. 282-291, 12 jun. 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1145/2037556.2037602>. Acesso em: 15 maio 2023.

NEIROTTI, Paolo; MARCO, Alberto de; CAGLIANO, Anna Corinna; MANGANO, Giulio; SCORRANO, Francesco. Current trends in Smart City initiatives: some stylised facts. *Cities*, [S.L.], v. 38, p. 25-36, jun. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cities.2013.12.010>. Acesso em: 15 maio 2023.

NEWELL, Peter; PATTERBERG, Philipp; SCHROEDER, Heike. Multiactor Governance and the Environment. *Annual Review Of Environment And Resources*, [S.L.], v. 37, n. 1, p. 365-387, 21 nov. 2012.

NICHI, J.; ZULLO JUNIOR, J. Governança multinível: o papel da sociedade civil na transição para um transporte de baixo carbono em sistemas sociotécnicos. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 3, p. 29803-29821, 2021.

NICHI, J. Negacionismo climático e outras controvérsias da retórica científica sobre o clima. *ClimaCom – Diante dos Negacionismos* [Online], Campinas, ano 8, n.21, p. 1-19, 2021. Disponível em: <http://climacom.mudancasclimaticas.net.br/negacionismo-climatico-2/>. Acesso em: 15 maio 2023.

NICHI, J.; CORTESE, T. T. P. Parques Tecnológicos como laboratório vivo para cidades inteligentes e sustentáveis. In: *ENCONTRO NACIONAL DA ANPUR, XIX, 2022, Blumenau. Anais [...]*



Blumenau: Fundação Regional Universidade de Blumenau, 2022. Disponível em: [https://sisgeenco.com.br/anais/enanpur/2022/arquivos/GT6\\_SEM\\_179\\_452\\_20211127122347.pdf](https://sisgeenco.com.br/anais/enanpur/2022/arquivos/GT6_SEM_179_452_20211127122347.pdf). Acesso em: 15 maio 2023.

NYKVIST, Björn; WHITMARSH, Lorraine. A multi-level analysis of sustainable mobility transitions: niche development in the uk and sweden. *Technological Forecasting And Social Change*, [S.L.], v. 75, n. 9, p. 1373-1387, nov. 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2008.05.006>. Acesso em: 15 maio 2023.

OBRINGER, Renee; NATEGHI, Roshanak. What makes a city ‘smart’ in the Anthropocene? A critical review of smart cities under climate change. *Sustainable Cities And Society*, [S.L.], v. 75, p. 103278, dez. 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2021.103278>. Acesso em: 15 maio 2023.

ROLNIK, Raquel. Exclusão territorial e violência. *São Paulo em perspectiva*, v. 13, p. 100-111, 1999. ROLNIK, Raquel; KLINTOWITZ, Danielle. (I) Mobilidade na cidade de São Paulo. *Estudos avançados*, v. 25, p. 89-108, 2011.

SETZER, J. Subnational and transnational climate change governance: Evidence from the state and city of São Paulo, Brazil. In: *FIFTH URBAN RESEARCH SYMPOSIUM*, 2009. p. 28-30.

SPTRANS. São Paulo Transporte S/A. Disponível em: <https://www.sptrans.com.br/>. Acesso em: 8 abr. 2023

UNEP. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. The Emissions Gap Report 2022. *Unep.org*, oct. 2022. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2022>. Acesso em: 12 dez. 2022. <https://antigo.mma.gov.br/images/arquivo/80076/Transporte.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2022.

VASCONCELLOS, Eduardo Alcântara de. Transporte e mobilidade urbana. Brasília, DF: CEPAL. Escritório no Brasil/ IPEA, 2011. (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 34).

WOLFF, M. C., LIMA, G. B., & CALDAS, M. A. F. Análise das estratégias de mitigação das emissões de gases do efeito estufa no transporte rodoviário com apoio da revisão sistemática. *Revista Espacios*, Caracas, VE, v. 38, n. 23, p. 1-20, 2017.