



## **IMPACTOS DA MOBILIDADE 4.0 NA MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL**

**Anna Luíza Nobre Bezerra**  
**Antônio Nélon Rodrigues da Silva**  
Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos

### **RESUMO**

A quarta revolução industrial trouxe temas e mudanças a serem discutidos dentro do contexto da mobilidade sustentável, seja pela introdução de novas tecnologias ou pela possibilidade de realizar atividades cotidianas sem a necessidade de executar viagens. Diante disso, o objetivo da pesquisa é desenvolver e aplicar uma metodologia com a qual seja possível identificar os potenciais impactos decorrentes da introdução nas cidades dos novos recursos e tecnologias associados à Mobilidade 4.0, bem como classificar a sua contribuição (como positiva, negativa ou eventualmente neutra e/ou indefinida) para a mobilidade sustentável. Uma primeira etapa consiste em selecionar e analisar documentos técnicos e científicos pré-existentes, relacionando à mobilidade urbana sustentável três principais tendências: veículos elétricos, veículos autônomos e mobilidade compartilhada. Em seguida, será elaborada uma consulta a técnicos e especialistas das áreas de planejamento urbano, transportes e mobilidade sobre o potencial impacto das tendências em análise sobre os padrões de sustentabilidade da mobilidade.

### **1. INTRODUÇÃO**

Inúmeras cidades, em diversas partes do mundo, têm enfrentado dificuldades para expandir suas redes de transporte de média a alta capacidade, visando atender o crescimento populacional nas zonas urbanas. Há também uma necessidade significativa de resolver problemas de micromobilidade, que envolve deslocamentos mais curtos e associados a uma grande quantidade de origens e destinos bastante dispersos no tempo e no espaço. Mudanças tecnológicas atualmente em curso criam, no entanto, desde já, uma expectativa de que os veículos em circulação passem a ser elétricos ou autônomos, conectados e compartilhados, o que eventualmente ajudaria a resolver estes problemas e ainda tornaria a mobilidade mais sustentável. Isto ocorre no contexto da “Quarta Revolução Industrial” dentro do ambiente urbano, em que se verifica uma união entre o espaço físico e virtual.

Assim, acredita-se que aquilo que se passou a denominar como Mobilidade 4.0 deve promover mudanças no sistema de transporte, sendo possível identificar importantes tendências que poderão afetar a mobilidade, assegurada por diferentes modos. No geral, segundo McKinsey & Company e Bloomberg (2016), as novas tecnologias implantadas, tais como veículos elétricos e autônomos, acompanhados da mobilidade compartilhada, têm gerado uma expectativa de que as cidades venham a combinar fatores e criar condições que favoreçam o transporte público, a infraestrutura e os sistemas de energia. Estas mudanças nos recursos e tecnologias existentes nos sistemas de transporte das cidades, esperadas para atender às necessidades da chegada da Mobilidade 4.0, devem alterar as formas de deslocamento das pessoas e a demanda por viagens, além de diversificar as fontes de energia usadas pelos diversos tipos de veículos, entre outros fatores. Não é possível ainda identificar, no entanto, que impactos essas mudanças terão sobre a mobilidade, do ponto de vista de sua sustentabilidade.

Diante disso, o objetivo desta pesquisa é desenvolver e aplicar uma metodologia com a qual seja possível identificar os potenciais impactos decorrentes da introdução nas cidades dos novos recursos e tecnologias associados à Mobilidade 4.0, bem como classificar a sua contribuição



(como positiva, negativa ou eventualmente neutra e/ou indefinida) para a mobilidade sustentável. O estudo terá como base a estrutura conceitual proposta por Rodrigues *et al.* (2021), que se concentraram na avaliação dos impactos decorrentes de três principais tendências identificadas na literatura: veículos elétricos, veículos autônomos, e mobilidade compartilhada.

Para auxiliar o desenvolvimento da pesquisa serão necessárias bases de dados capazes de identificar os principais fatores geradores de impactos à mobilidade sustentável, para que os recursos selecionados sejam capazes de demonstrar de forma detalhada o que se pode esperar durante e após a sua implantação.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Esta pesquisa é um desdobramento de projeto piloto conduzido por Rodrigues *et al.* (2021), que identificaram e classificaram, a partir de uma revisão bibliográfica nas bases *Scopus*, *Web of Science* e *Science Direct*, 104 impactos de tecnologias relacionadas à Mobilidade 4.0 nos domínios da mobilidade urbana sustentável propostos por Costa (2008). A partir das 58 referências selecionadas para consulta, foi observada maior incidência de impactos sobre os domínios *Aspectos ambientais*, *Tráfego e circulação urbana* e *Sistema de transporte público*. Por outro lado, os domínios *Acessibilidade*, *Aspectos sociais* e *Modos não motorizados* foram aqueles com menos associações.

Aspectos que merecem destaque no estudo original envolvem a questão ambiental, que apresentou fatores relevantes em relação ao consumo de combustíveis e emissão de poluentes. Os veículos compartilhados, por exemplo, tendem a reduzir as emissões de gases poluentes (Martin e Shaheen, 2011; Fagnant e Kockelman, 2014; Zhang e Mi, 2018) e o consumo de combustíveis (Fagnant e Kockelman, 2014; Shen *et al.*, 2018; Sun *et al.*, 2018; Becker *et al.*, 2019). Também é o caso dos veículos elétricos que usam fontes de energia não-fóssil, menos prejudiciais ao meio ambiente (Nanaki e Koroneos, 2016; Sun *et al.*, 2018; Martínez-Díaz *et al.*, 2019).

Um aspecto também considerado relevante para a implantação das tecnologias foi a infraestrutura, como no caso de veículos autônomos e elétricos. Isto se deve ao fato, por exemplo, de que a automação vai permitir que os veículos, especialmente em rodovias, desenvolvam maiores velocidades com espaçamentos menores entre eles, efeito chamado de *platooning*, que deve causar uma diminuição do espaço necessário para a circulação dos veículos mesmo nas zonas urbanas (Howard e Dai, 2014; Heinrichs, 2016; Consilvio *et al.*, 2019; Do *et al.*, 2019). Já para os veículos elétricos há a necessidade de implantação das estruturas de recarga, que ao mesmo tempo que estimula a sua utilização, se configura como um custo a mais para o sistema de transportes (Tsang *et al.*, 2012; Transportation Research Board e National Research Council, 2013; Nanaki e Koroneos, 2016).

Visto o desafio de conciliar os interesses dos diferentes níveis de implantação e disponibilidade de recepção tecnológica unidos a iniciativas governamentais e privadas (Milakis *et al.*, 2017; Fraedrich *et al.*, 2019) e a introdução de leis que regulamentem essa modalidade (McKinsey & Company e Bloomberg, 2016; Martínez-Díaz *et al.*, 2019), atribuídos igualmente entre veículos elétricos e compartilhados, é necessário caracterizar os impactos que envolvem os estímulos ao desenvolvimento da eletrificação veicular e infraestrutura (McKinsey & Company e Bloomberg, 2016). Neste sentido, é importante ressaltar que a classificação dos impactos como positivo,



negativo e neutro chegou a ser realizada por Rodrigues *et al.* (2021), mas teve por base apenas a percepção e experiências dos próprios autores. Além disso, como o assunto é emergente, certamente diversos trabalhos foram publicados após a revisão realizada por aqueles autores.

### 3. METODOLOGIA

Para alcançar o objetivo proposto, que consiste em avaliar os impactos de algumas das principais tendências de mobilidade 4.0 na mobilidade urbana sustentável, deverão ser realizadas duas etapas. A primeira etapa consiste em selecionar e analisar documentos técnicos e científicos pré-existentes, relacionando à mobilidade urbana sustentável as três principais tendências a serem avaliadas nesse estudo: veículos elétricos, veículos autônomos e mobilidade compartilhada. Em seguida, será elaborada uma consulta a técnicos e especialistas das áreas de planejamento urbano, transportes e mobilidade sobre o potencial impacto das tendências em análise, no curto, médio e longo prazo, sobre os padrões de sustentabilidade da mobilidade.

Na primeira etapa, a seleção e análise de artigos científicos será conduzida a partir das bases de dados *Scopus*, *Web of Science* e *Science Direct*, além de outros materiais relevantes identificados durante o desenvolvimento da pesquisa. Estas bases de dados são sugeridas por englobarem inúmeras revistas científicas internacionais relevantes e por apresentarem recursos avançados de busca. A busca nas bases de dados será feita por meio de combinações de palavras-chave, em inglês, contemplando as tecnologias da Mobilidade 4.0 e os domínios do Índice de Mobilidade Urbana Sustentável (IMUS). O IMUS é uma ferramenta para auxílio na análise da mobilidade urbana, constituído por uma hierarquia de 9 domínios, 37 temas e 87 indicadores, cuja definição operacional foi proposta por Costa (2008). Os nove domínios deste índice são: *Acessibilidade*, *Aspectos ambientais*, *Aspectos sociais*, *Aspectos políticos*, *Infraestrutura*, *Modos não motorizados*, *Planejamento integrado*, *Tráfego e circulação urbana* e *Sistema de transporte público*. A exemplo do que foi proposto por Rodrigues *et al.* (2021), nos casos em que houver dificuldade para encontrar trabalhos relacionados aos domínios, a busca será feita utilizando os temas correspondentes aos respectivos domínios.

Na segunda etapa, será conduzida uma análise dos estudos selecionados com o propósito de identificar de que maneira as tecnologias da Mobilidade 4.0 impactam a mobilidade urbana sustentável. Uma vez identificados na literatura consultada, os potenciais impactos serão organizados para apresentação e consulta a técnicos e especialistas da área de transportes, que serão convidados a classificá-los como positivos, negativos, eventualmente neutros e/ou indefinidos. O processo de classificação deverá envolver duas fases. Na primeira delas serão elaborados questionários simplificados, para preenchimento *online*, visando atingir um número elevado de respondentes. A partir dos resultados desta fase deverá ser elaborado um instrumento de avaliação para submissão a especialistas por meio de um painel, em formato ainda a ser definido.

#### Agradecimentos

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

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Becker, H.; M. Balac; F. Ciari e K. W. Axhausen (2019) Assessing the Welfare Impacts of Shared Mobility and Mobility as a Service (MaaS). *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 131, p. 228-243. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.09.027>.



- Consilvio, A.; A. Di Febbraro; N. Sacco e A. Torre (2019) On Exploring the Potentialities of Autonomous Vehicles in Urban Spatial Planning. *6<sup>th</sup> International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems*. <https://doi.org/10.1109/MTITS.2019.8883388>.
- Costa, M. S. (2008) Um Índice de Mobilidade Urbana Sustentável. Tese (Doutorado em Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. <https://doi.org/10.11606/T.18.2008.tde-01112008-200521>.
- Do, W.; O. M. Rouhani e L. Miranda-Moreno (2019) Simulation-based Connected and Automated Vehicle Models on Highway Sections: A Literature Review. *Journal of Advanced Transportation*, v. 2019, Article ID 9343705, 14 pages. <https://doi.org/10.1155/2019/9343705>.
- Fagnant, D. J. e K. M. Kockelman (2014) The Travel and Environmental Implications of Shared Autonomous Vehicles, Using Agent-based Model Scenarios. *Transportation Research Part C*, v. 40, p. 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2013.12.001>.
- Fraedrich, E.; D. Heinrichs; F. J. Bahamonde-Birke e R. Cyganski (2019) Autonomous Driving, the Built Environment and Policy Implications. *Transportation Research Part A*, v. 122, p. 162-172. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.02.018>.
- Heinrichs, D. (2016) Autonomous Driving and Urban Land Use, Autonomous Driving: Technical, Legal and Social Aspects. In: Maurer, M., Gerdes, J., Lenz, B., Winner, H. (eds) *Autonomous Driving*. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 213-231. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-48847-8\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-662-48847-8_11).
- Howard, D. e D. Dai (2014) Public Perceptions of Self-Driving Cars: The Case of Berkeley, California. *Transportation Research Board 93<sup>rd</sup> Annual Meeting*, Washington D.C., Estados Unidos da América.
- Martin, E. W. e S. A. Shaheen (2011) Greenhouse Gas Emission Impacts of Carsharing in North America. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, v. 12, n. 4, p. 1074-1086. <https://doi.org/10.1109/TITS.2011.2158539>.
- Martínez-Díaz, M.; F. Soriguera e I. Pérez (2019) Autonomous Driving: A Bird's Eye View. *IET Intelligent Transport Systems*, v. 13, n. 4, p. 563-579. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2018.5061>.
- Milakis, D.; B. van Arem e B. van Wee (2017) Policy and Society Related Implications of Automated Driving: A Review of Literature and Directions for Future Research. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, v. 21, n. 4, p. 324-348. <https://doi.org/10.1080/15472450.2017.1291351>.
- McKinsey & Company e Bloomberg (2016) *An Integrated Perspective on the Future of Mobility*. [https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2016/10/BNEF\\_McKinsey\\_The-Future-of-Mobility\\_11-10-16.pdf](https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2016/10/BNEF_McKinsey_The-Future-of-Mobility_11-10-16.pdf).
- Nanaki, E. A. e C. J. Koroneos (2016) Climate Change Mitigation and Deployment of Electric Vehicles in Urban Areas. *Renewable Energy*, v. 99, p. 1153-1160. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.08.006>.
- Rodrigues, M. R.; M. C. Rodrigues de Jesus e A. N. Rodrigues da Silva (2021) Impacts of Mobility 4.0 on Sustainable Urban Mobility. *Proceedings of the 17<sup>th</sup> International Conference on Computational Urban Planning and Urban Management*, CUPUM, Helsinque, Finlândia.
- Shen, Y.; H. Zhang e J. Zhao (2018) Integrating Shared Autonomous Vehicle in Public Transportation System: A Supply-Side Simulation of the First-Mile Service in Singapore. *Transportation Research Part A*, v. 113, p. 125-136. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.04.004>.
- Sun, L.; S. Wang; S. Liu; L. Yao; W. Luo e A. Shukla (2018) A Compleitive Research on the Feasibility and Adaptation of Shared Transportation in Mega-Cities: A Case Study in Beijing. *Applied Energy*, v. 230, p. 1014-1033. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.080>.
- Transportation Research Board e National Research Council (2013) *Overcoming Barriers to Electric-Vehicle Deployment: Interim Report*. The National Academies Press. Washington D.C., Estados Unidos da América. <https://doi.org/10.17226/18320>.
- Tsang, F.; J. Pedersen; S. Wooding e D. Potoglou (2012) Bringing the Electric Vehicle to the Mass Market: a Review of Barriers, Facilitators and Policy Interventions. *RAND Corporation*, Santa Monica, CA, Estados Unidos da América. [https://www.rand.org/pubs/working\\_papers/WR775.html](https://www.rand.org/pubs/working_papers/WR775.html).
- Zhang, Y. e Z. Mi (2018) Environmental Benefits of Bike Sharing: A Big Data-Based Analysis. *Applied Energy*, v. 220, p. 296-301. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.101>.

---

Anna Luiza Nobre Bezerra ([annaluizanb@usp.br](mailto:annaluizanb@usp.br))

Antônio Néelson Rodrigues da Silva ([anelson@sc.usp.br](mailto:anelson@sc.usp.br))

Departamento de Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo  
Av. Trabalhador São-carlense, 400 - São Carlos, SP, Brasil