

RICARDO ANDRÉ FIOROTTI PEIXOTO
MARIA TERESA GOMES BARBOSA
(Organizadores)

ambiente construído

ciudades resilientes e
sua sustentabilidade

AMBIENTE CONSTRUÍDO

CIDADES RESILIENTES E SUA SUSTENTABILIDADE



UFOP

Universidade Federal
de Ouro Preto

Reitora

Cláudia Aparecida Marlière de Lima

Vice-Reitor

Hermínio Arias Nalini Jr.



editora **UFOP**

Diretor Executivo

José Rubens Lima Jardimino

Coordenador Editorial

Daniel Ribeiro Pires

Assessor da Editora

Alvimar Ambrósio

Diretoria

Francisco José Daher Jr. (Coordenador de Comunicação Institucional)

Paulo de Tarso Amorim Castro (Presidente do Conselho Editorial)

Marcos Eduardo Carvalho Gonçalves Knupp (Proex)

Sérgio Francisco Aquino (Propp)

Tânia Rossi Garbin (Prograd)

Daniel Ribeiro Pires (Representante TAE)

Conselho Editorial

Prof. Dr. Adriano Medeiros da Rocha

Prof. Dr. Douglas da Silva Tinti

Prof. Dr. Flávio Pinto Valle

Prof. Dr. Paulo de Tarso Amorim Castro

Ricardo André Fiorotti Peixoto
Maria Teresa Gomes Barbosa
(Organizadores)

AMBIENTE CONSTRUÍDO

CIDADES RESILIENTES E SUA SUSTENTABILIDADE

1ª edição

Ouro Preto
2023



© EDUFOP

Coordenação Editorial

Daniel Ribeiro Pires

Capa

Varnei Rodrigues

Diagramação

Propagare Comercial Ltda.

Revisão

Tikinet

Ficha Catalográfica

(Elaborado por: Elton Ferreira de Mattos - CRB6-2824, SISBIN/UFOP)

A492 Ambiente construído : cidades resilientes e sua sustentabilidade / Ricardo André Fiorotti Peixoto, Maria Teresa Gomes Barbosa (Organizadores).
1. ed. – Ouro Preto : Editora UFOP, 2023.
270 p. : il. : color; grafs; tabs.

1. Desenvolvimento sustentável. 2. Sustentabilidade 3. Planejamento urbano. I. Peixoto, Ricardo André Fiorotti. II. Barbosa, Maria Teresa Gomes.

CDU: 711.4

ISBN 978-65-89785-20-0

Todos os direitos reservados à Editora UFOP. Nenhuma parte desta obra poderá ser reproduzida, arquivada ou transmitida por qualquer meio ou forma sem prévia permissão por escrito da Editora. A originalidade dos conteúdos e o uso de imagens são de responsabilidade dos autores da obra.

Obra aprovada no Edital Geral - 01/2019 e publicada apenas no ano de 2023 em decorrência dos prejuízos operacionais causados pela PANDEMIA DO COVID-19.

EDITORA UFOP

Campus Morro do Cruzeiro

Centro de Comunicação Institucional, 2º andar

Ouro Preto / MG, 35400-000

www.editora.ufop.br / editora@ufop.edu.br

(31) 3559-1463

SUMÁRIO

9 PREFÁCIO

CAPÍTULO 1

13 MANUTENÇÃO E MANUTENIBILIDADE NA NORMA BRASILEIRA DE
DESEMPENHO - NBR 15575

13 Introdução

15 Manutenção das edificações

20 A manutenção e a norma de desempenho

27 Considerações finais

28 Agradecimentos

29 Referências

CAPÍTULO 2

35 CONSIDERAÇÕES SOBRE A SUSTENTABILIDADE DAS ESTRUTURAS
EM CONCRETO ARMADO

35 Introdução

36 Estruturas de concreto armado

49 Propostas de solução

51 Considerações finais

53 Referências

CAPÍTULO 3

57 SUSTENTABILIDADE E GESTÃO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DA
CONSTRUÇÃO CIVIL

57 Introdução

59 Gerenciamento de resíduos da indústria construção civil

62 Classificação e composição gravimétrica de resíduos da indústria
da construção

64 Resíduos de construção e demolição

69 Resíduos de concreto gerados em centrais dosadoras

73 Considerações finais

74 Referências

CAPÍTULO 4

- 83 ESCÓRIA DE ACIARIA PARA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL
- 83 Introdução
- 86 Caracterização da escória
- 90 Estabilização de solos
- 91 Concreto com escória de aciaria
- 93 Utilização da escória de aciaria na substituição do cimento
- 95 Elementos pré-moldados produzidos com escória de aciaria
- 99 Viabilidade técnica e econômica do beneficiamento da escória de aciaria
- 100 Conclusões gerais
- 101 Referências

CAPÍTULO 5

- 111 REAPROVEITAMENTO DE REJEITO DE BARRAGEM DE MINÉRIO DE FERRO EM CONSTRUÇÃO CIVIL E INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA
- 111 Introdução
- 114 RBMF como agregado para matrizes cimentícias
- 121 RBMF na produção de cerâmica vermelha
- 123 RBMF como pigmento para materiais de construção
- 127 RBMF na produção de geopolímeros
- 129 RBMF na infraestrutura rodoviária
- 131 Considerações finais
- 133 Referências

CAPÍTULO 6

- 141 RESILIÊNCIA URBANA E A QUALIDADE DAS ÁGUAS DE ABASTECIMENTO: O DESASTRE DE BRUMADINHO-MG
- 141 Introdução
- 142 Minas Gerais e a mineração
- 148 Materiais e métodos
- 151 Análise após rompimento da Barragem B1 – Brumadinho-MG
- 152 Resultados e discussão
- 155 Análise após rompimento da Barragem B1 – Brumadinho-MG:
- 160 Considerações finais
- 161 Referências

CAPÍTULO 7

- 171 SEGURANÇA NO TRÂNSITO: A ZONA DE TRANSIÇÃO ENTRE OS TRECHOS RURAL E URBANO EM RODOVIAS QUE CRUZAM CENTROS URBANOS
- 171 Introdução
- 174 Estudo dos espaços
- 177 Perímetro urbano
- 179 Zona De Transição
- 192 Considerações finais
- 194 Referências

CAPÍTULO 8

- 199 A BICICLETA COMO TRANSPORTE SUSTENTÁVEL E OS DESAFIOS PARA AS SMART CITIES
- 199 Introdução
- 201 Smart cities
- 205 Entraves, questionamentos e o novo conceito de “Smart Sustainable City”
- 207 As novas tendências no uso da bicicleta
- 216 Considerações finais
- 217 Referências

CAPÍTULO 9

- 223 EFICIENCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE
- 223 Introdução
- 224 Desenvolvimento sustentável na iluminação pública
- 228 Percepção e processamento visual humano
- 230 Visão mesópica
- 231 Adaptação da fotometria para a condição mesópica
- 233 Simulações em software
- 237 Considerações finais
- 238 Referencias

CAPÍTULO 10

- 245 DEFINIÇÃO DE TIPOLOGIAS REPRESENTATIVAS PARA A DETERMINAÇÃO DO EFEITO DE MEDIDAS DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA À ESCALA DE BAIRRO
- 245 Introdução
- 248 Abordagem metodológica
- 254 A habitação social em Portugal e o caso de estudo do bairro de Santa Tecla
- 256 Definição de tipologias representativas no bairro de Santa Tecla
- 265 Considerações finais
- 266 Referências

- 269 SOBRE OS ORGANIZADORES

A BICICLETA COMO TRANSPORTE SUSTENTÁVEL E OS DESAFIOS PARA AS SMART CITIES

Ugo Nogueira Castañon; Rui António Rodrigues Ramos; Paulo Jorge Gomes Ribeiro⁸
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha
e Mucuri/ Universidade do Minho

Introdução

A cidade é um sistema complexo, composto por diversos componentes e é possível perceber em seu cotidiano a necessidade dos gestores em lidar com situações difíceis para garantir o funcionamento deste sistema e o bem-estar da população, como por exemplo: a gestão dos resíduos e efluentes, problemas de mobilidade, demandas econômicas e sociais e a deterioração das infraestruturas, entre outros. Por serem os territórios de maior concentração de pessoas os centros urbanos são responsáveis pelo consumo de importantes quantidades de recursos, seja para o seu próprio funcionamento, seja para o transporte e produção de bens. Face aos problemas de sustentabilidade, especialmente no que se refere as emissões carbônicas dos transportes, as cidades enfrentam importantes desafios na luta contra às alterações climáticas (AHVENNIEMI *et al.*, 2017).

Na busca pela eficiência urbana, surgiu na última década o conceito de *smart cities* que inicialmente sugere que o funcionamento dos componentes da cidade (e.g., sistemas de transporte) pode ser aprimorado através da aplicação de tecnologia, como é o caso dos sistemas inteligentes de transporte (ITS – *intelligent transportation systems*), nos projetos

⁸ ugo.castanon@ufvjm.edu.br; rramos@civil.uminho.pt; pauloribeiro@civil.uminho.pt

que favoreçam a intermodalidade o uso misto do solo e a alta qualidade dos serviços urbanos (ALBINO; BERARDI; DANGELICO, 2015; RANA *et al.*, 2019).

Também no contexto das cidades, sabe-se que o uso da bicicleta como modo de transporte (i.e., viagens utilitárias) vem crescendo nos últimos anos. Soma-se a este fato a popularização das bicicletas elétricas (*e-bikes*) que, no contexto dos cicláveis, favorece a integração deste modo ativo com os demais modos de transportes urbanos (BEHRENDT, 2016; STAMATIADIS; PAPPALARDO; CAFISO, 2017). Diante de tais circunstâncias, levantam-se duas indagações:

1) De que forma as *smart cities* podem ser mais sustentáveis por uma maior inclusão das bicicletas no transporte cotidiano?

2) Como a informação da utilização das bicicletas pode ser inserida no contexto de uma *smart city* e encontrar o seu espaço de atuação nos transportes urbanos?

No empenho de responder tais questões, desenvolveu-se este artigo que está estruturado em quatro seções. A primeira seção é a presente introdução. A segunda diz respeito às *smart cities* e são apresentadas perspectivas a respeito da definição deste conceito e suas principais dimensões, pontuando-se também questionamentos e entraves apresentados pela literatura. A terceira aborda os tópicos sobre o modo ciclável e a respectiva integração nos transportes urbanos e discute-se a relação deste modo com a mobilidade urbana e a evolução tecnológica através da aplicação de tecnologias de informação e comunicação ao transporte por bicicleta, seja de forma individual ou considerando a operação de um sistema de partilha (integrado aos demais sistemas de transporte). A quarta e última seção apresenta as principais conclusões sobre o relacionamento destes dois temas de relevância inquestionável para a sustentabilidade das cidades, particularmente na redução de emissões carbônicas dos transportes.

Smart cities

Para a compreensão do conceito *smart city* é essencial que se tenha em mente o papel das cidades em relação aos aspectos sociais, econômicos e principalmente aos ambientais, pois, atualmente as cidades consomem imensa quantidade de recursos. Isto se deve tanto pela importância econômica destes territórios quanto pela sua baixa performance ambiental (ALBINO; BERARDI; DANGELICO, 2015). Embora seja amplamente utilizado, não há uma única e universal definição para o conceito de *smart city*, embora haja aspectos comuns entre os exemplos da literatura (AHVENNIEMI *et al.*, 2017; ALBINO; BERARDI; DANGELICO, 2015; ANGELIDOU, 2015; BIBRI; KROGSTIE, 2017).

De uma perspectiva tecnológica, uma *smart city* pode ser apontada como uma cidade com grande presença das tecnologias de informação e comunicação (ICT – *information and communication technologies*) aplicadas em importantes componentes da infraestrutura e dos serviços. Nesta ótica, Harrison *et al.* (2010) definem as *smart cities* como cidades instrumentadas, interconectadas e inteligentes. O primeiro termo refere-se à capacidade de coletar dados do ambiente real através de sensores (e.g., dispositivos pessoais como os smartphones), o segundo sugere a possibilidade de utilização destes dados por plataformas de diferentes serviços, o terceiro termo refere-se à utilização de modelos e análises complexas para otimização das decisões.

O conceito de *smart city* não é limitado somente pela disseminação das ICT, ele também considera as necessidades das pessoas e das comunidades. Em termos de planejamento urbano o termo suscita a tomada estratégica de decisões, ou seja, a orientação de políticas e programas com metas de desenvolvimento econômico e sustentabilidade ambiental de forma a garantir a qualidade de vida e alegria da população. A título de exemplo, ao considerar o contexto da União Europeia, um dos principais objetivos das *smart cities* é a redução das emissões dos gases do efeito estufa através do uso de tecnologias inovadoras (AHVENNIEMI *et al.*, 2017), isto aponta para uma perspectiva de sustentabilidade ambiental.

Entretanto, como destaca Vanolo (2014), a tecnologia deve ser aplicada nos territórios de forma que a mesma adapta-se às necessidades dos cidadãos e não o inverso. Somente assim a comunidade promoverá um crescimento *smart* e útil para o desenvolvimento da cidade (ALBINO; BERARDI; DANGELICO, 2015).

Pode-se fazer a síntese de duas grandes perspectivas a respeito das *smart cities*. A primeira destaca o uso de modernas tecnologias voltadas para a melhoria da qualidade de vida e redução dos impactos ambientais, enquanto a segunda é uma perspectiva mais holística e sugere que as *smart cities* congreguem a tecnologia, o governo e a sociedade a fim de possibilitar uma série de *smart components* (e.g., economia, mobilidade, governança). Essas duas perspectivas podem ser observadas em investigações recentes. Huovila *et al.* (2019) consideraram em seu trabalho que *smart city* é uma cidade inovadora que utiliza as ICT e outros meios para melhorar a qualidade de vida, a eficiência da operação e serviços urbanos e a competitividade, garantindo o atendimento das gerações atuais e futuras (numa perspectiva de incremento da sustentabilidade urbana). Por outro lado, Rana *et al.* (2019) fundamentam sua investigação na definição de *smart cities* como territórios modernos tecnologicamente avançados com a existência de determinada habilidade intelectual para lidar com diversos aspectos do desenvolvimento (e.g., técnico, social, econômico, etc.) sob o auxílio de técnicas computacionais e com o objetivo da oferta de infraestruturas e serviços superiores aos convencionais (focados principalmente nos usuários).

Albino *et al.* (2015) justificam a falta de consenso sobre o conceito *smart city* pelo fato de que este tenha sido aplicado a dois domínios distintos. De um lado os domínios *Hard* (i.e., matriz energética, recursos naturais, mobilidade), onde as ICT desempenham papel fundamental no funcionamento dos sistemas, e de outro, os domínios *Soft* (i.e., educação, cultura, inclusão social), onde a aplicação das ICT não é normalmente determinante. Estes autores destacam ainda quatro características (dimensões) correntes das *smart cities*:

1. Infraestrutura urbana interconectada, de forma a possibilitar a eficiência política e o desenvolvimento social e cultural;
2. Ênfase no desenvolvimento urbano orientado pelos negócios e atividades criativas para a promoção do crescimento urbano;
3. A atuação do ambiente natural como componente estratégico para o futuro;
4. Inclusão social dos cidadãos da cidade e a ênfase sobre o capital social no desenvolvimento urbano.

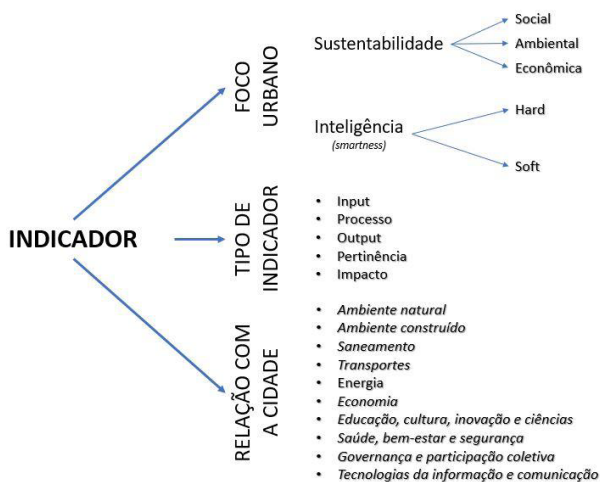
De acordo com Nam e Pardo (2011), os componentes principais das *smart cities* são: a tecnologia, as pessoas (i.e., criatividade, diversidade e educação) e as instituições (i.e., política e governança). Os dois primeiros já foram introduzidos no tópico anterior, cabendo neste momento o destaque para o conteúdo do terceiro componente. Assim, a *smart governance* é compreendida pelo envolvimento dos *stakeholders* nos processos decisórios e nos serviços públicos. A aplicação das ICT nos processos de governança resulta na chamada *e-governance*, ela é fundamental para a difusão das iniciativas entre os cidadãos e participação dos mesmos, assim como para garantir a transparência em todos os processos (ALBINO; BERARDI; DANGELICO, 2015). Cabe ressaltar que, o objetivo de se alcançar o status de *smart city* pode ser prejudicado caso os governantes não tenham uma visão clara do futuro (i.e., não consigam fazer planos de longo prazo). Este tipo de percalço geralmente advém de um cenário de instabilidade política (RANA *et al.*, 2019).

A aplicação isolada de um *smart component* não é suficiente para criar uma *smart city*, estes componentes necessariamente devem trabalhar em rede, apresentando um funcionamento orgânico. As cidades tornam-se de fato *smart cities* quando investem nos capitais humano e social tal como nas tecnologias de informação e comunicação, fazendo com que todas estas contribuam para o desenvolvimento sustentável e a qualidade de vida da população.

Para além dos investimentos em um *smart component* é necessário proceder com o seu acompanhamento. Pode-se verificar a relevância desta ação através do exposto por Huovila *et al.* (2019) que destacam a necessidade do desenvolvimento de indicadores para o monitoramento da décima primeira meta de desenvolvimento sustentável da Organização das Nações Unidas (ONU), isto é, tornar as cidades e os assentamentos humanos mais seguros, resilientes e sustentáveis.

Em geral, os indicadores são empregados com diferentes propósitos. As cidades utilizam regularmente conjuntos de indicadores para definir objetivos e sistematizar o seu monitoramento. Um exemplo de taxonomia para análise de indicadores (figura 1) é o proposto pelos autores anteriormente citados. Esta sistemática considera o tipo de indicador, o componente em relação à cidade e também o foco em relação ao meio urbano.

Figura 1 - Taxonomia para análise de indicadores.



Fonte: adaptado de Huovila *et al.*,2019.

Para uma apropriada seleção de indicadores deve-se considerar fatores que na respectiva avaliação tenham em conta o horizonte espacial (e.g., cidade, estado, país), o horizonte temporal (e.g., tempo real, anual) e o propósito da análise (e.g., definição de objetivos, monitoramento,

comparação de indicadores ou marketing) (HUOVILA; BOSCH; AIRAKSINEN, 2019).

Sharifi (2019) afirma que a avaliação das *smart cities* (SCA – *smart city assessment*) é um tema em ascensão na literatura. No entanto, pode-se perceber que as abordagens sobre o estudo das ferramentas de SCA podem ser alocadas em dois níveis de profundidade, o primeiro é orientado para uma visão geral das ferramentas. O segundo é centrado em análises mais detalhadas das ferramentas para a melhor compreensão de seu foco temático e tipologia dos indicadores.

A identificação do conjunto de indicadores é o primeiro passo no desenvolvimento de uma ferramenta de avaliação. O uso de *big data* e a *internet of things* (IoT) tenderá a aperfeiçoar o entendimento da dinâmica urbana e também poderá sugerir possibilidades de conexões entre os indicadores. (SHARIFI, 2019)

Em geral as cidades ainda se encontram em um estágio inicial de desenvolvimento e operacionalização das SCA, ou seja, as práticas de avaliação até então não estão integradas nos mecanismos e estratégias de planejamento. Isto se deve à falta de mecanismos estatutários para integrar a SCA nos processos de planejamento e tomada de decisão (CAIRD; HALLETT, 2019). Por fim, a avaliação de uma *smart city* deve levar em conta o fato de as cidades possuírem prioridades distintas para atingir determinados objetivos, no entanto, deve haver um desenvolvimento integrado dos diferentes aspectos (ALBINO; BERARDI; DANGELICO, 2015).

Entraves, questionamentos e o novo conceito de “Smart Sustainable City”

O aumento da dependência das cidades em relação às ICT com o objetivo de intensificar a eficiência da gestão e dos serviços, e alcançar um novo patamar na sustentabilidade é uma constatação generalizada na literatura. Contudo, como referem muitos autores, este processo não é

isento de entraves e por vezes suscita alguns questionamentos (AHVENNIEMI *et al.*, 2017; ANGELIDOU, 2015; HUOVILA; BOSCH; AIRAKSINEN, 2019; SHARIFI, 2019).

As *smart cities* se relacionam com a partilha de uma grande quantidade de dados pessoais, inclusive em tempo real (e.g., registros de localização e movimentação), por isso as liberdades civis tornam-se uma relevante fonte de preocupação. Nos países em desenvolvimento, que apresentam um cenário político instável, a principal barreira para o desenvolvimento das *smart cities* está relacionada com as questões de governança, uma vez que existe grande fragilidade na relação de confiança entre a população e a administração pública. (BEHRENDT, 2016; RANA *et al.*, 2019)

Dois grandes questionamentos recorrentes são: (i) as soluções que se encaixam no contexto das *smart cities* serem demasiado tecnocêntricas, e (ii) apesar da existência de várias definições, nem todas relacionam as *smart cities* com os propósitos e princípios da sustentabilidade (ALBINO; BERARDI; DANGELICO, 2015; HUOVILA; BOSCH; AIRAKSINEN, 2019).

Relativamente aos indicadores ambientais, Ahvenniemi *et al.* (2017) afirmam que existe uma carência de representação nas ferramentas de SCA e que situação semelhante ocorre com os indicadores de uso de energia que são representados de forma mais limitada no âmbito das *smart cities* do que no âmbito da sustentabilidade.

Para Ahvenniemi *et al.* (2017) a consideração dos aspectos sustentáveis deve ser parte do desenvolvimento de uma *smart city*, por este motivo recomendam a integração dos aspectos *smart* e *sustainable* e propõe o novo termo *smart sustainable city*. Este (novo) conceito complementa o conceito de *smart city* que tradicionalmente inclina-se para a esfera tecnológica, e eleva o mesmo para o conceito de desenvolvimento sustentável, pois considera as alterações das necessidades de uma sociedade altamente digitalizada (HUOVILA; BOSCH; AIRAKSINEN, 2019).

A nível dos transportes urbanos, uma das formas de promoção da sustentabilidade nas *smart cities* que se vem a destacar é o estímulo do uso da bicicleta como modo regular de transporte. Os cicláveis são modos de baixo custo que permitem aumentar os índices de atividade física

da população, reduzir as emissões de gás carbônico (CO₂) e a poluição sonora através da substituição das viagens baseadas em petróleo, e assim tornam as cidades mais humanas. A sua inclusão de uma forma mais evidente também resulta de em alguns contextos terem uma forte ligação aos transportes públicos, em contextos de intermodalidade nas viagens pendulares (BEHRENDT, 2018; HISELIUS; SVENSSON, 2017).

As novas tendências no uso da bicicleta

Se, no passado, o automóvel prevaleceu como principal referência norteadora para o planejamento urbano e de transportes, nota-se alguma mudança a partir deste século. Políticas e orientações mundiais ao nível da mobilidade, sobretudo em contexto urbano, estão alinhadas com a promoção da utilização de modos de transporte mais sustentáveis (FISHMAN; WASHINGTON; HAWORTH, 2013). Neste contexto, os modos ativos têm vindo a assumir um papel relevante nesta segunda década do século XXI, especificamente a bicicleta, uma vez que pode ser encarada como uma melhor alternativa para os deslocamentos de maior ocorrência no meio urbano (i.e., viagens de curta e média duração)(GROOT, 2007).

Nos últimos tempos a mobilidade elétrica é vista como uma potencial solução para os problemas de mobilidade e transportes (BEHRENDT, 2018), particularmente para a descarbonização deste setor. Porém, a associação entre a mobilidade elétrica e o carro elétrico, é um reflexo da reprodução de uma cultura centrada no automóvel, que deverá ser evitada, pois, em nada contribui para a mudança de paradigma de um sistema de transportes de uma cidade sustentável.

Segundo Behrendt (2018), a mobilidade elétrica vem crescendo rapidamente, particularmente fora do segmento automobilístico (e.g., patinetes, bicicletas, triciclos elétricos). A utilização da bicicleta se verifica principalmente em dois tipos de viagens, as utilitárias (i.e., de carácter pendular) e as recreativas (i.e., de carácter eventual). A existência de uma infraestrutura que atenda aos requisitos de segurança, coesão, objetivida-

de, conforto e atratividade é um dos principais fatores que estimulam o ciclismo utilitário (GROOT, 2007), de maior relevância para os sistemas de mobilidade urbana. Sobre isto, Stamatiadis *et al.* (2017) salientam que as políticas públicas são de vital importância para a implementação de intervenções que visem o encorajamento do uso da bicicleta especialmente ao nível das viagens utilitárias/ pendulares.

A bicicleta enquanto meio de transporte, indiferente do seu tipo (i.e., convencional/ mecânica ou elétrica) ou da forma de atuação (i.e., privada ou partilhada), inspira a produção de conceitos, em geral, relacionados à sustentabilidade e à mobilidade. Um exemplo disto é o conceito de *velomobility*, usado para especificar os interesses relacionados com os sistemas, tecnologias e as práticas do ciclismo. Sua estrutura centra-se no uso da bicicleta em meio urbano e no seu planejamento na área de transporte, considerando-se essencialmente os movimentos dos ciclistas e as relações de compartilhamento do espaço viário (BEHRENDT, 2016). Do conceito *velomobility* pode-se destacar quatro aspectos fundamentais para o embasamento de políticas e ações:

1. Movimentação física de um ponto ao outro através de uma infraestrutura que incentive a livre circulação dos ciclistas e que não seja um obstáculo aos fluxos;
2. Relações de compartilhamento do espaço de circulação que considere os diversos atores da mobilidade;
3. Evitar a representação negativa da bicicleta em termos de status econômico e social;
4. Reconhecimento das práticas quotidianas e experiência dos usuários que utilizam a bicicleta para se deslocarem.

A *velomobility* auxilia na compreensão das relações de poder envolvendo o modo ciclável e as *smart cities*, assim como o uso dos ITS no planejamento dos diferentes modos de transportes envolvidos (BEHRENDT, 2016). De forma complementar ao conceito *velomobility*, o autor sugere que

um conceito de *smart velomobility* envolve o relacionamento de sistemas, tecnologias e práticas integradas que giram em torno do ciclismo. Este conceito considera o quão interconectadas são as práticas e experiências ciclísticas, o nível de fusão entre os aspectos físico e digital, e as relações de poder entre os modos.

O trabalho de Behrendt (2016) demonstrou a relevância do ciclismo, tanto para a *smart mobility*, quanto para os ITS. No entanto, advertiu-se que, a exclusão física e política deste modo ativo, representadas respectivamente pela escassez de infraestrutura e pela exígua representação nas políticas e normas relacionadas às *smart cities* e *IoT*, pode agora ser agravada pela exclusão digital. Mais recentemente desenvolveu-se o conceito de *e-velomobility* (BEHRENDT, 2018), relacionado com as práticas, sistemas e tecnologias em torno de bicicletas, onde uma combinação entre o acionamento do pedal (necessário) e a assistência elétrica (opcional) impulsionam o veículo. O uso dos pedais é uma característica chave tanto da *velomobility* quanto da *e-velomobility*, portanto exclui-se do último os veículos elétricos de duas rodas em que o uso dos pedais seja opcional.

As mais recentes tendências na mobilidade urbana ciclável correspondem à implementação e exploração de sistemas de partilha de bicicletas (*Bicycle-Sharing Systems – BSS*) e do uso de bicicletas elétricas (*e-bikes*).

O conceito da partilha de bicicletas surgiu na Holanda na década de 1960 através das bicicletas brancas (*Witte Fietsen*) dispersas por Amsterdã. Desde aquela época até aos nossos dias, os sistemas de partilha foram evoluindo, nomeadamente através da integração de tecnologias. Entre 2004 e 2014 ocorreu um crescimento vertiginoso no número de BSS, com um salto de 13 para 855. Os países que lideraram esta expansão foram China, Itália e Espanha (FISHMAN, 2016). Diversos autores convergem para a classificação dos BSS em quatro gerações (FISHMAN, 2016; MANZI; SAIBENE, 2018; SHAHEEN; GUZMAN; ZHANG, 2010).

As duas primeiras gerações distinguem-se principalmente pela forma de acesso. Enquanto a pioneira oferecia livre acesso, a segunda geração obrigava à realização de um pequeno depósito para desbloquear as bicicletas. Manzi e Saibene (2018) relatam que as bicicletas da segunda geração

eram geralmente colocadas nas proximidades de polos geradores de viagens. A terceira geração dos BSS destacou-se pelo registro e identificação de usuários (i.e., uso da tecnologia da informação), mas, os BSS ainda não atuavam de forma integrada com os demais modos de transporte, fato que somente ocorreu a partir da quarta geração destes sistemas. Em comum, a terceira e a quarta geração ofereciam esquema de preços e planos de utilização conforme o tipo de usuário (e.g., frequente ou ocasional) e problemas relacionados com a ocupação das estações.

A favor de uma mobilidade sustentável, a introdução de BSS contribuiu para a redução do uso do automóvel (WANG; ZHOU, 2017). Indiretamente estes sistemas ajudam a lidar com os problemas das fases inicial e final das viagens (*last mile problem*), atuando em complementariedade com o transporte público (FISHMAN, 2016). Além disso, os sistemas de partilha relacionam-se diretamente com a redução dos índices de congestionamento (WANG; ZHOU, 2017).

Até a quarta geração a operação dos BSS baseava-se essencialmente em bicicletas convencionais/mecânicas e no emprego de interfaces (docas) fixas. Atualmente, algumas cidades europeias contam com sistemas que operam bicicletas elétricas (FISHMAN; CHERRY, 2016). Os Sistemas de partilha de bicicletas elétricas (*Electric-Bicycle-Sharing Systems – e-BSS*) de Madri (ROMANILLOS *et al.*, 2018) e Zurique (GUIDON *et al.*, 2019) são exemplos de sistemas que operam de forma distinta. O primeiro conta com estações para empréstimo e devolução enquanto o segundo oferece bicicletas espalhadas pela cidade (*free-floating*), tal qual a primeira geração. Em comum, ambos apresentam: integração com outros modos, rastreamento dos veículos por GPS e informação em tempo real sobre a disponibilidade das bicicletas.

Para Guidon *et al.* (2019), as inovações existentes em sistemas como o de Zurique são tamanhas que a consideração de uma quinta geração é justificada. Os aprimoramentos apontados pelos autores são: i) a integração dos smartphones nos sistemas e-BSS (i.e., serviços baseados na localização), que tornou possível a existência de sistemas *free-floating* eficientes; ii) o fato das estações tornarem-se opcionais, pois, as bicicletas

podem ser localizadas, desbloqueadas e bloqueadas através do uso de um smartphone, que, para além disso, também favorece a coleta de dados.

Já, a introdução das bicicletas elétricas (*e-bikes*) na dinâmica dos transportes urbanos, pode ser compreendida de duas formas: i) um novo modo de transporte ou um aperfeiçoamento da bicicleta e, portanto, deve-se considerar a perspectiva de adoção de uma nova tecnologia; e, ii) um novo padrão de mobilidade (i.e., mobilidade como um serviço - *MaaS*) onde, a bicicleta elétrica se torna um elemento chave nos sistemas urbanos de partilha e aparece como interessante elemento de transição para a mobilidade elétrica, nomeadamente com o advento e disseminação dos e-BSS (WOLF; SEEBAUER, 2014).

As investigações relacionadas às bicicletas elétricas ainda são muito recentes. Apesar disso, pode-se constatar a proeminência dos estudos relacionados com a modernização ou adaptação das cidades considerando este modo de transporte, especialmente em termos de segurança para os usuários mais vulneráveis, especialmente os pedestres e os ciclistas das bicicletas mecânicas (SALMERON-MANZANO; MANZANO-AGUGLIARO, 2018).

Entre os fatores ambientais importa o fato de que as bicicletas elétricas, com base na análise das emissões no ciclo de vida das *e-bikes*, emitirem substancialmente menos poluição por quilômetro do que os automóveis, para além de apresentarem baixíssimos níveis de ruído (BEHRENDT, 2018; HISELIUS; SVENSSON, 2017). Por isso, as regiões populosas (urbanas) estão especialmente interessadas nas *e-bikes* para desenvolver ações e implementar políticas de mobilidade sustentável.

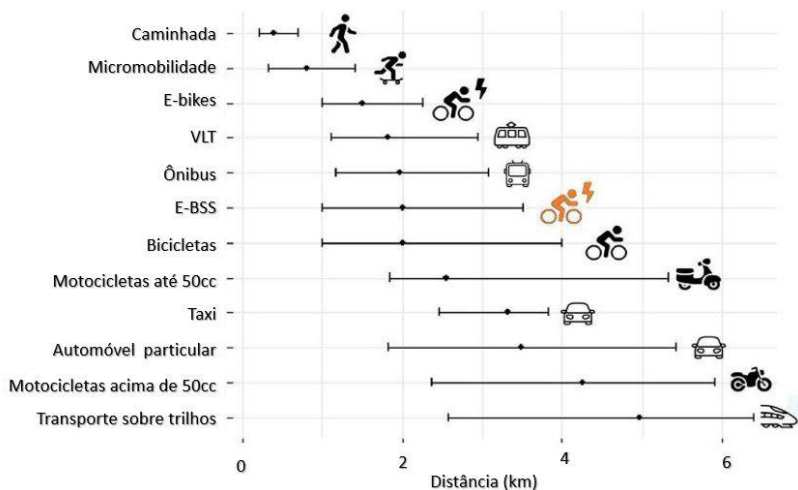
As principais limitações da bicicleta convencional são eliminadas através da assistência elétrica, que fornece ao usuário a possibilidade de transpor trechos íngremes, percorrer longas distâncias mantendo velocidades elevadas e carregar mais bagagem, tudo isso diminuindo o esforço de locomoção e evitando a sudorese (FYHRI *et al.*, 2017). Por todas as características expostas, a bicicleta elétrica pode ser uma opção interessante de transporte sustentável para grupos populacionais mais vulneráveis (e.g., idosos e pessoas com algumas limitações do seu estado

físico). As *e-bikes* poderão ainda potencializar os deslocamentos pendulares (i.e., *commuting*) e o transporte de carga (e.g., entregadores de mercadorias e transporte de crianças).

Embora termo *e-bike* por vezes pareça ambíguo, o entendimento corrente é que este refere-se às bicicletas que possuem motor elétrico com potência máxima de 250W – vulgarmente conhecidas por *pedelec*, verificando-se que a assistência é progressivamente reduzida consoante o aumento da velocidade e cessando quando o veículo atinge a velocidade de 25 km/h ou o usuário para de pedalar. A assistência elétrica pode atuar com diferentes propósitos, seja no sentido de reduzir o esforço no arranque após uma parada ou de proporcionar um deslocamento contínuo. Considerando este último, a introdução de um e-BSS é uma forma de atender demandas dispersas em áreas urbanas extensas (GUIDON *et al.*, 2019).

Segundo Campbell *et al.* (2016), diferentemente dos outros sistemas de mobilidade partilhada os e-BSS atraem parte da demanda dos modos de transporte público, o que não é necessariamente negativo. Em regiões onde a oferta não supre a demanda dos serviços tradicionais de transporte público, os sistemas de e-BSS complementam essa oferta de transporte, podendo inclusive servir como alternativa de transporte em territórios de baixa demanda que conduzam a investimentos avultados relativos à implementação de sistemas de transporte públicos convencionais (CAMPBELL *et al.*, 2016). Guidon *et al.* (2019) constatou que o alcance das viagens com sistemas de transporte que integrem e-BSS ultrapassa o alcance dos transportes públicos tradicionais e reconhece que as *e-bikes* partilhadas, podem atender às viagens realizadas pela maioria dos modos urbanos, inclusive ônibus e VLT (figura 2).

Figura 2- Comparação entre as distâncias de viagens dos modos de transporte urbano.



Fonte: adaptado de Guidon *et al.*, 2019.

A principal diferença entre os sistemas de partilha de bicicletas que utilizam estações (*docks*) reside no fato de que aqueles que operam com bicicletas elétricas (e-BSS) necessitam de estações com maior capacidade, porém, em menor número (i.e., maior distanciamento entre estações) do que os BSS. Portanto, a área de cobertura dos sistemas que utilizam e-bikes pode ser 400% superior aos sistemas que utilizam bicicletas convencionais (Campbell *et al.*, 2016).

Sob a perspectiva do planejamento e governança, a bicicleta elétrica pode ser utilizada para promover sistemas de mobilidade ainda mais sustentáveis e *smart* dado o potencial tecnológico inerente a este tipo de veículos. Porém, na ótica do planejamento urbano de transporte e mobilidade esta assume particular relevância na adoção de redes de e-BSS, que num contexto de promoção da sustentabilidade numa cidade que se deseja “*smart*”, as e-bikes juntamente com os e-BSS poderão ser utilizados como ferramentas para: i) incentivar padrões de mobilidade mais sustentáveis, ii) mitigar o uso irregular de veículos elétricos de duas rodas e controlar as rotas destes veículos (e.g., instalação planejada das estações) e, iii) promover a segurança rodoviária (CAMPBELL *et al.*,

2016). Em relação às questões de segurança importa destacar que com o aumento do ciclismo proporcionado pelas *e-bikes*, o risco individual de quem utiliza a bicicleta elétrica tende a aumentar, enquanto o risco para os demais utilizadores da via tende a diminuir, uma vez que ocorre a mudança de um modo motorizado mais pesado, para um modo leve, sustentável e menos veloz (SCHEPERS *et al.*, 2014). Por último, os principais fatores que influenciam a demanda dos e-BSS prendem-se com a atividade econômica e social, a disponibilidade de infraestrutura ciclável e a qualidade do transporte público (GUIDON *et al.*, 2019).

Desta forma, uma *smart city* terá sempre que integrar no planejamento do seu sistema de transportes e mobilidade as novas tendências associadas à mobilidade ciclável, seja como sistemas independentes, mas sobretudo como sistemas integrados e de partilha de informação, que permitam a sua coleta e respetivo tratamento para que se possam desenvolver e implementar políticas e ações para intensificar a perspectiva de uma mobilidade mais sustentável neste tipo de territórios.

Pelo exposto, verifica-se que a introdução da componente elétrica nas bicicletas traduz uma certa mudança de paradigma na mobilidade ciclável, tornando-se necessário dotar os territórios de infraestruturas apropriadas para possibilitar a continuidade do crescimento do modo ciclável e consequentemente da sustentabilidade de territórios que se querem *smart*. O desenvolvimento e aplicação de tecnologias para monitoramento desempenha papel fundamental no planejamento e desenvolvimento das infraestruturas cicláveis. Nesse sentido, o avanço da tecnologia de geocalização e a disseminação de aplicativos para smartphones são condições reconhecidamente importantes, pois poderão permitir compreender as preferências dos usuários (BEHRENDT, 2016).

De forma geral a informação sobre a utilização da bicicleta, sobretudo em meio urbano, é escassa e traduz-se em muitos casos apenas a contagens de volumes de ciclistas em certos trechos das cidades. Assim, torna-se necessário monitorar a evolução do uso da bicicleta no tempo e no espaço com a devida regularidade e precisão. As tecnologias existentes no âmbito do sensoriamento dos ciclistas podem ser organizadas

em quatro classes, de acordo com o tipo de informação a ser coletada: i) tráfego, ii) infraestrutura, iii) comportamento do usuário e, iv) ambiente (STAMATIADIS; PAPPALARDO; CAFISO, 2017).

Por outro lado, de acordo com Behrendt (2016) os dados individuais de cada viagem do usuário podem ser coletados através dos smartphones ou de dispositivos embarcados. Para o ciclismo a segunda opção pode não ser exequível, pois a bicicleta convencional não possui fonte de energia para suportar equipamentos eletrônicos (e.g., sensores e transmissores). Tal diferença pode potencializar a marginalização do ciclismo no contexto das *smart cities* e na integração de ITS. Porém, o uso de bicicleta elétrica poderá resolver esta situação já que estes veículos possuem fonte de energia embarcada que poderá servir de suporte para diversos equipamentos.

Para além disso, considerando que grande parte dos ciclistas possui um smartphone, a coleta de dados pode ser realizada em larga escala e de forma econômica, permitindo a formação de um banco de dados que poderá ser útil para fornecer informações relevantes sobre o uso da bicicleta. Porém, é necessário ter em conta que em regiões economicamente desfavorecidas a utilização do smartphone para coleta de dados pode ser mais difícil uma vez que o valor do dispositivo pode ser maior que o custo de uma bicicleta.

Para Stamatiadis *et al.* (2017), o uso de aplicativos de smartphones poderá servir o usuário e, ou a entidade gestora das infraestruturas e sistemas urbanos. Ao nível do usuário pode fornecer informações de planeamento e roteamento de percursos e recolha de informação sobre as condições da viagem e do seu estado físico/ motor. Segundo a perspectiva dos agentes públicos/ gestores da infraestrutura podem contribuir para a determinação do estado e qualidade da infraestrutura (e.g., avaliação dos riscos de acidentes), bem como da identificação de outras necessidades, como a monitorização das tendências de viagem e ainda a avaliação posterior de impactos decorrentes de ações/ modificações na infraestrutura.

Os dados de monitoramento, tanto na utilização dos sistemas de partilha como através dos usuários individuais de bicicletas, podem ser usados de forma integrada no contexto de *smart cities* para fomentar a

tomada de decisão dos gestores quanto às modificações urbanas e investimentos necessários que visem: tornar o modo ciclável mais atrativo, melhorar a disponibilidade de veículos e de informações para os usuários, analisar o comportamento dos usuários e das viagens, e ainda definir o importância da utilização deste modo nos indicadores de inteligência e sustentabilidade das cidades, a fim de garantir o aumento da qualidade de vida de seus habitantes.

Considerações finais

As tecnologias aplicadas aos sistemas cicláveis podem contribuir para que as *smart cities* viabilizem o desenvolvimento sustentável nas cidades, através de um de seus principais aspectos que é a mobilidade e os modos de transporte urbanos. A bicicleta como modo de transporte é um vetor de sustentabilidade para as cidades, pois não gera emissões poluentes e, também, contribui para o aumento dos índices de atividade física da população. Já os sistemas de partilha mostram-se imprescindíveis nas *smart sustainable cities* por ampliarem o acesso a este modo de transporte a um maior número de pessoas que utilizam diariamente a cidade e por proporcionar a sua integração efetiva nas redes dos transportes públicos.

É importante ter em mente que a maioria das estratégias para que um a cidade se torne *smart* está relacionada com um sistema de monitoramento eficiente e com a geração e partilha de dados relevantes e confiáveis. Desta forma, a utilização das ICT nos cicláveis, seja no uso privado (e.g., através dos aplicativos de smartphone) ou pelos sistemas de partilha (e.g., através do sistema de informação para monitorização), mostra-se como um valioso gerador de dados que auxilia na formulação de políticas e na tomada de decisão no contexto da mobilidade nas *smart cities*.

É fundamental que se alie a utilização dos cicláveis às tecnologias inteligentes, pois assim é possível promover o aumento da substituição modal para viabilizar a descarbonização dos transportes, e, por conseguinte contribuir para alcançar os objetivos globais de sustentabilidade. A este

nível a aquisição e compartilha de dados é fundamental para promover o sistema e o tornar mais apelativo para um maior número de usuários. Complementarmente, a disponibilização de indicadores e a sistematização dos mesmos irá contribuir de forma efetiva para que o sistema seja integrado de forma efetiva nos processos de governança relacionados à mobilidade, o que representará certamente um contributo para a sustentabilidade nas *smart cities*. Assim, fica claro que a integração efetiva da bicicleta como modo de transporte e a utilização de sistemas de partilha devem ser tidos em conta pelas autoridades que gerem a mobilidade urbana.

Referências

AHVENNIEMI, H. *et al.* What are the differences between sustainable and smart cities? *Cities*, v. 60, p. 234–245, 2017.

ALBINO, V.; BERARDI, U.; DANGELICO, R. M. Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. *Journal of Urban Technology*, v. 22, n. 1, p. 1–19, 2015.

ANGELIDOU, M. Smart cities: A conjuncture of four forces. *Cities*, v. 47, p. 95–106, 2015.

BEHRENDT, F. Why cycling matters for Smart Cities. Internet of Bicycles for Intelligent Transport. *Journal of Transport Geography*, v. 56, p. 157–164, out. 2016.

BEHRENDT, F. Why cycling matters for electric mobility: towards diverse, active and sustainable e-mobilities. *Mobilities*, v. 13, n. 1, p. 64–80, 2018.

BIBRI, S. E.; KROGSTIE, J. Smart sustainable cities of the future: An extensive interdisciplinary literature review. *Sustainable Cities and Society*, v. 31, p. 183–212, 2017.

CAIRD, S. P.; HALLETT, S. H. Towards evaluation design for smart city development. *Journal of Urban Design*, v. 24, n. 2, p. 188–209, 2019.

CAMPBELL, A. A. *et al.* Factors influencing the choice of shared bicycles and shared electric bikes in Beijing. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, v. 67, p. 399–414, jun. 2016.

FISHMAN, E. Bikeshare: A Review of Recent Literature. *Transport Reviews*, v. 36, n. 1, p. 92–113, 2 jan. 2016.

FISHMAN, E.; CHERRY, C. E-bikes in the Mainstream: Reviewing a Decade of Research. *Transport Reviews*, v. 36, n. 1, p. 72–91, 2 jan. 2016.

FISHMAN, E.; WASHINGTON, S.; HAWORTH, N. Bike Share: A Synthesis of the Literature. *Transport Reviews*, v. 33, n. 2, p. 148–165, 2013.

FYHRI, A. *et al.* A push to cycling—exploring the e-bike's role in overcoming barriers to bicycle use with a survey and an intervention study. *International Journal of Sustainable Transportation*, v. 11, n. 9, p. 681–695, 2017.

GROOT, R. DE. Desing manual for bicycle traffic. CROW, 2007.

GUIDON, S. *et al.* Electric Bicycle-Sharing: A New Competitor in the Urban Transportation Market? An Empirical Analysis of Transaction Data. *Transportation Research Record*, 2019.

HARRISON, C. *et al.* Foundations for Smarter Cities. *IBM Journal of Research and Development*, v. 54, n. 4, p. 1–16, jul. 2010.

HISELIUS, L. W.; SVENSSON, A. E-bike use in Sweden – CO₂ effects due to modal change and municipal promotion strategies. *Journal of Cleaner Production*, v. 141, p. 818–824, 2017.

HUOVILA, A.; BOSCH, P.; AIRAKSINEN, M. Comparative analysis of standardized indicators for Smart sustainable cities: What indicators and standards to use and when? *Cities*, v. 89, n. January, p. 141–153, jun. 2019.

MANZI, G.; SAIBENE, G. Are they telling the truth? Revealing hidden traits of satisfaction with a public bike-sharing service. *International Journal of Sustainable Transportation*, v. 12, n. 4, p. 253–270, 21 abr. 2018.

NAM, T.; PARDO, T. A. Smart city as urban innovation. Proceedings of the 5th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance. In: ICEGOV '11, p. 185, 2011.

RANA, N. P. *et al.* Barriers to the Development of Smart Cities in Indian Context. *Information Systems Frontiers*, v. 21, n. 3, p. 503–525, 30 jun. 2019.

ROMANILLOS, G. *et al.* The pulse of the cycling city: visualising Madrid bike share system GPS routes and cycling flow. *Journal of Maps*, v. 14, n. 1, p. 34–43, 2018.

SALMERON-MANZANO, E.; MANZANO-AGUGLIARO, F. The electric bicycle: Worldwide research trends. *Energies*, v. 11, n. 7, p. 1–16, 2018.

SCHEPERS, J. P. *et al.* The safety of electrically assisted bicycles compared to classic bicycles. *Accident Analysis and Prevention*, v. 73, p. 174–180, 2014.

SHAHEEN, S.; GUZMAN, S.; ZHANG, H. Bikesharing in Europe, the Americas, and Asia. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, v. 2143, n. May, p. 159–167, 2010.

SHARIFI, A. A critical review of selected smart city assessment tools and indicator sets. *Journal of Cleaner Production*, v. 233, p. 1269–1283, out. 2019.

STAMATIADIS, N.; PAPPALARDO, G.; CAFISO, S. Use of technology to improve bicycle mobility in smart cities. In: IEEE International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS), 7, 2017. Anais[...], jun. 2017. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8005636/>

VANOLO, A. Smartmentality: The Smart City as Disciplinary Strategy. *Urban Studies*, v. 51, n. 5, p. 883–898, 2014.

WANG, M.; ZHOU, X. Bike-sharing systems and congestion: Evidence from US cities. *Journal of Transport Geography*, v. 65, p. 147–154, dez. 2017.

WOLF, A.; SEEBAUER, S. Technology adoption of electric bicycles: A survey among early adopters. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 69, p. 196–211, nov. 2014.