UNIVERSIDADE PAULISTA - UNIP

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

PPGEP

PROPOSTA DE UM MODELO DE CLASSIFICAÇÃO DE TRANSPORTE PÚBLICO PARA CIDADES INTELIGENTES BASEADO EM TECNOLOGIAS

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP, para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

LUIZ RODRIGO BONETTE

SÃO PAULO

2022

UNIVERSIDADE PAULISTA - UNIP

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

PPGEP

PROPOSTA DE UM MODELO DE CLASSIFICAÇÃO DE TRANSPORTE PÚBLICO PARA CIDADES INTELIGENTES BASEADO EM TECNOLOGIAS

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP, para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

Orientadora: Prof. Dra. Márcia Terra da Silva

Área de Concentração: Gestão de Sistemas de Operação

Linha de Pesquisa: Redes de Empresas e Planejamento da Produção

Projeto de Pesquisa: Indústria 4.0 e Transformação Digital

LUIZ RODRIGO BONETTE

SÃO PAULO

2022

Bonette, Luiz Rodrigo.
Proposta de um modelo de classificação de transporte público para cidades inteligentes baseado em tecnologias / Luiz Rodrigo Bonette. - 2022.
169 f. : il. color. + CD-ROM.

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista, São Paulo, 2022.
Área de concentração: Gestão de Sistemas de Operação.
Orientadora: Prof.ª Dr.ª Márcia Terra da Silva.

1.Transporte de massa. 2.Tecnologias inteligentes e Sustentáveis. 3.Fontes de energia. 4.Transporte público. 5. Cidades inteligentes. I. Silva, Márcia Terra da (orientador). II. Título.

LUIZ RODRIGO BONETTE

PROPOSTA DE UM MODELO DE CLASSIFICAÇÃO DE TRANSPORTE PÚBLICO PARA CIDADES INTELIGENTES BASEADO EM TECNOLOGIAS

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP, para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

Aprovado em: _____

Banca Examinadora:

_____

Prof. Dra. Márcia Terra da Silva

Universidade Paulista – UNIP

_____

Prof. Dr. Jair Gustavo de Mello Torres

Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial – Senac

_____

Prof. Dr. Rodrigo Carlo Toloi

Instituto Federal Educação, Ciências e Tecnologia – IFMT

_____

Prof. Dr. Hélcio Raymundo

Universidade Paulista – UNIP

_____

Prof. Dr. Rodrigo Franco Gonçalves

Universidade Paulista – UNIP

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Marcelo Gouveia de Araújo, por tudo o que representou para as pessoas que viveram com ele. Por compartilhar generosamente seu profundo conhecimento da engenharia civil, arquitetura e história.

A Thiago Colatrelli Nunes, pelo esforço em me dar suporte nas horas mais incertas e complexas de todo esse processo. Pela pessoa especial, pelo artista completo, pelo engajamento emancipatório da cultura, e de ser quem ele é. Uma pessoa fantástica, carinhosa, atenciosa, que amo, e a quem todos deveriam conhecer a valorizar constantemente.

A Patrícia Cristina Lima, pela sua luta diária em tornar-se uma intelectual exemplar e uma amiga constante e única. Se um dia a humanidade buscar um nome para representar sua luta diária, seria dela esse mérito.

A Priscila Ferro, pela amizade e companheirismo. Se um dia faltar humanidade em algum momento na vida de alguém, que ela apareça com seu acolhimento e sensatez.

Dedico, em especial, à minha orientadora, Márcia Terra da Silva, por me reabilitar psicologicamente a academicamente. Por ter me resgatado conceitos que sempre apliquei em minha vida como docente e pesquisador, como “sem afetividade no processo de aprendizagem e ética para quem se aprende, nunca evoluiremos a níveis imagináveis do saber”.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à CAPES, pela oportunidade de cursar o programa com bolsa de estudos financiada.

Agradeço por todo incentivo de todos os coordenadores de curso com os quais já trabalhei nas engenharias, em especial a Anderson Manzoli e Ornella Pacífico.

Agradecimentos especiais à professora e orientadora Dra. Márcia Terra da Silva, pela dedicação ao programa e aos alunos.

Aos colegas do programa de engenharia de produção da UNIP, que colaboraram, de alguma forma, para a construção de minha produção científica.

Ao Marcelo Gouveia de Araújo (*in memoriam),* que faleceu em 2021, amigo de muita experiência de vida e de conhecimentos vastos em engenharia de transportes.

A todo corpo docente e aos funcionários da Universidade Paulista, com os quais tive o prazer de conviver nesses três anos e meio.

“A ciência é, portanto, uma perversão de si mesma, a menos que tenha como fim último, melhorar a humanidade”

Nikola Tesla

UTILIDADE DA TESE

A utilidade desta tese está na possibilidade de avaliar e classificar sistemas de transporte de massa, com base nas tecnologias e nos sistemas energéticos utilizados no transporte público. Isso é possível porque o modelo de classificação de transporte público para cidades inteligentes baseado em tecnologia proposto é baseado em indicadores advindos do aumento do acesso à informação e do tratamento dos dados através de tecnologias inteligentes. Além disso, o modelo considera o uso adequado de fontes de energias renováveis, através de tecnologias sustentáveis, para redução dos impactos ambientais no transporte público. O modelo proposto pode ser uma poderosa ferramenta para a avaliação e para a evolução do transporte de massa de uma cidade inteligente e sustentável.

SUMÁRIO

RESUMO....14
ABSTRACT....15

CAPÍTULO I

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS....16
1.1.1 Introdução 18
1.1.1.1 Cidades Inteligentes....20
1.1.1.2 Transporte Inteligente....25
1.1.1.3 Transporte Sustentável....27
1.1.2 Justificativa 30
1.1.3 Objetivos 31
Objetivo Geral....31
Objetivos Específicos....31
Problema de pesquisa....32
1.1.4 Referencial Teórico Resumido 32
1.1.4.1 Bondes e Ônibus com Tração Animal, a Vapor ou Elétricos e Metrôs....32
1.1.4.2 Dieselização e Eletrificação do Transporte Público....38
1.1.4.3 Transporte Público e Sistemas Inteligentes de Transporte....40
1.1.4.4 Transporte Público Inteligente e Sustentável nas Cidades Inteligentes..44
1.1.4.5 Síntese do referencial teórico resumido....54
1.1.5 Metodologia Resumida....59
1.1.5.1 Métodos Utilizados nos Artigos 61
Artigo 1....61
Artigo 2....61
Artigo 3....62
Resultados e Discussão....63
1.1.6 Composição da Tese 64

CAPÍTULO II

2.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES....65
2.1.1 The impact of technological, economic and socioeconomic factors on the sustainability of public transportation in smart cities 65

2.1.2 Available Technologies for Mass Transport Modes in Smart Cities 88
2.1.3 Composição, concentração e classificação do transporte urbano de massa inteligente e sustentável em quatro cidades inteligentes 110
2.1.4 Resultados e Discussão sobre a proposição do modelo de classificação 134

CAPÍTULO III
3.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS 155
3.1.2 Conclusões 155
3.1.2 Recomendações de trabalhos futuros 160
Referências 161

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dimensões da evolução do transporte de massa. 55
Figura 2 - Estrutura de organização da tese 64
Figura 3 - Evolução do transporte de massa e seus estágios históricos. 139
Figura 4 - Classificação por categorização das variáveis do modelo de transporte de massa em cidades inteligentes em duas etapas. 142

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Decomposição dos danos por poluição do ar em ônibus 143

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Estrutura dos objetivos específicos relacionados as perguntas de pesquisa. 32
Quadro 2 - Evolução dos bondes para o transporte público entre o iníco e o fim do século XIX. 33
Quadro 3 - Evolução dos ônibus para o transporte público entre o iníco e o fim do século XIX. 35
Quadro 4 - Evolução dos metrôs para o transporte público entre o iníco e o fim do século XIX. 37
Quadro 5 - Modos de transporte de massa nas cidades para o transporte público entre 1901 a 1950. 39
Quadro 6 - Evolução dos Sistemas Inteligentes de Transporte entre meados do século XX e início século XXI para o transporte público. 41
Quadro 7 - Conceituações sobre Cidades Inteligentes. 46
Quadro 8 - Tecnologias inteligentes e sustentáveis no transporte de massa em cidades inteligentes do inicio doséculo XXI 51
Quadro 9 - Proposta de um modelo de classificação de transporte público para cidades inteligentes baseado em tecnologias e indicadores sustentáveis. 145
Quadro 10 - Índice de evolução por diversidade tecnológica para sustentabilidade no transporte de massa na cidade inteligente 146
Quadro 11 - Proposta de um modelo de classificação de transporte público para cidades inteligentes baseado em tecnologias e indicadores inteligentes 148
Quadro 12 - Índice de evolução por diversidade tecnológica inteligente para comunicação equânime ao usuário no transporte de massa na cidade inteligente. 149
Quadro 13 - Proposição do Modelo Analítico de Classificação de Transporte Público para Cidades Inteligentes Baseado em Tecnologias 154

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APTS	*Advanced Public Transportation System*
ATMS	*Advanced Traffic Management System*
ATIS	*Advanced Traveller Information System*
BEBs	*Battery Electric Buses*
BRT	*Bus Rapid Transit*
CO_2	Dióxido de carbono
SEM	*Emergency Management System*
FHWA	*Federal Highway Administration US*
GPS	*Global Positioning System*
ITS	*Intelligent Transportation System*
IEA	*International Energy Agency*
IoT	*Internet of Things*
Lifu	*Liquid Fuel Engineering Co*
MUTC	*Multiple-Unit Train Control*
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
LGOC	*Omnibus Company*
RFID	*Radio Frequency Identification*
RBE	*Regenerative Breaking Energy*
SNA	*Social Analysis Network*
TICs	Tecnologias de Informação e Comunicação
UN	*United Nations*
UNDP	*United Nations Development Programe*
V2I	Veículo a Infraestrutura
VLT	Veículo leve sobre trilhos
V2V	Veículo a Veículo

RESUMO

Ao longo dos últimos duzentos anos, a evolução do transporte público caminhou ao lado do planejamento urbano. Com o advento das cidades inteligentes, esse tipo de transporte passou de um sistema físico de projeção da infraestrutura da cidade para sistemas virtualizados e hiperconectados tecnologicamente, seguindo as modificações vindas com as novas formas de gestão urbana. Essas novas formas de gestão implicam, também, a preocupação com o transporte sustentável e com o uso de fontes de energia renováveis e alternativas, além da inserção de novas tecnologias para melhorar a informação para os usuários. A tecnologia digital, a sustentabilidade e a comunicação são variáveis significativas para a avaliação dos sistemas de transporte de massa e, consequentemente, para a evolução desse transporte junto com o planejamento urbano. O objetivo geral deste estudo é propor um modelo de classificação para sistemas de transporte urbano de massa, baseado nessas três variáveis. Para atingir esse objetivo, a metodologia desta tese foi desenvolvida da seguinte maneira: Foram feitos três estudos na forma de artigos, que compõem esta tese. O primeiro, utilizou o método SNA, para realizar uma análise das redes de transporte de massa, compostas por tecnologia de transporte, fonte de energia, modo de transporte e dados socioeconômicos. No segundo, foi feita uma revisão da literatura através de análise textual mecanizada pelo software Iramuteq, a fim de separar os tipos de tecnologia em “inteligente” e “sustentável”. O terceiro, foi um estudo de caso múltiplo com a triangulação de três bases de dados de 4 cidades com perfil metropolitano, que propõe uma classificação abrangente do transporte público.
A partir desses três estudos, foi percebida a necessidade de se inserir novas tecnologias nas redes de transporte, separando-as nas duas classes mostradas pela análise do Iramuteq e, finalmente, foi proposto o modelo mais específico e sistematizado, com adição de indicadores aos dois grupos de tecnologias, considerando a classificação anteriormente elaborada. Essa proposta de modelo de classificação de sistemas de transporte público, utiliza as três variáveis, possibilitando a classificação do sistema de transporte de massa na cidade inteligente como mais ou menos autônoma e equânime, em relação à produção, coleta e utilização dos dados advindos da virtualização e hiperconectividade, à poluição ambiental e à comunicação com os usuários. A estrutura do modelo possibilita a melhora na atualização do serviço prestado pelo transporte de massa, consoante com a governança compartilhada nas tomadas de decisões do planejamento desse tipo de transporte entre usuários, prestadores de serviços e gestores.

Palavras-chave: Transporte de Massa; Tecnologias Inteligentes e Sustentáveis; Fontes de Energia, Transporte Público; Cidades Inteligentes.

ABSTRACT

Over the last two hundred years, the evolution of public transport has walked alongside urban planning. With smart cities advent, this type of transport went from a physical system for projecting the city's infrastructure to virtualized and technologically hyperconnected systems, following the changes that came with new forms of urban management. These new forms of management also imply a concern with sustainable transportation and the use of renewable and alternative energy sources, in addition to the insertion of recent technologies to improve information for users. Digital technology, sustainability and communication are significant variables for the evaluation of mass transport systems and, consequently, for the evolution of this transportation along with urban planning. The general objective of this study is to propose a classification model for urban mass transport systems, based on these three variables. To achieve this objective, the methodology of this dissertation was developed as follows: three studies were carried out in the form of papers, which are part of this work. The first paper used the SNA method to carry out an analysis of mass transportation networks, composed of transport technology, energy source, transportation mode and socioeconomic data. In the second, a literature review was carried out through mechanized textual analysis by the Iramuteq software, to separate the types of technology into “smart” and “sustainable”. The third was a multiple case study with the triangulation of three databases from 4 cities with a metropolitan profile, which proposes a comprehensive classification of public transportation. From these three studies, the need to insert new technologies into transport networks was perceived, separating them into the two classes shown by the Iramuteq analysis and, finally, a more specific and systematized model was proposed, with the addition of indicators to the two technology groups, considering the classification previously elaborated. This proposal for a classification model for public transportation systems uses the three variables, enabling the classification of the mass transportation system in the smart city as more or less autonomous and equitable, in relation to the production, collection and use of data arising from virtualization and hyperconnectivity, environmental pollution and communication with users. The structure of the model makes it possible to improve the updating of the service provided by mass transportion, in line with shared governance in decision-making for planning this type of transport between users, service providers and managers.

Keywords: Mass Transport; Smart and Sustainable Technologies; Energy Sources, Public Transport; Smart Cities.

CAPÍTULO I

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As cidades têm um impacto significativo no nível de desenvolvimento de um país. Elas fornecem uma plataforma para as pessoas viverem e trabalharem, estabelecem serviços e operações para os cidadãos de várias maneiras e facilitam um contato próximo entre os funcionários do governo local e os cidadãos. Com a globalização e o movimento em direção ao desenvolvimento econômico, social, ambiental e tecnológico, as cidades estão agora competindo entre si para atrair investimentos e trabalhadores do conhecimento, a fim de se promoverem como inteligentes e sustentáveis, com base no estilo de vida que proporcionam, no conhecimento que têm sobre a sua infraestrutura e nas tecnologias que utilizam (IBRAHIM *et al.*, 2015).

O conceito de cidade está conectado aos conceitos de planejamento urbano e de mobilidade urbana e, juntos, interconectam-se aos conceitos de transporte urbano, público ou de massa. Nesta pesquisa, esses conceitos fazem parte de sistemas abertos e mutáveis e, por isso, precisam ser explicitados.

Hall (2000) afirma que os conceitos de cidade e do seu planejamento estão intimamente ligados à transição da infraestrutura física para a estrutura virtualizada, gerenciada por redes de computadores, tendo os efeitos da onipresença no monitoramento dos serviços prestados à comunidade e, assim, no desempenho da qualidade.

Segundo Duarte (2009), as cidades necessitam de planejamento urbano porque ele está relacionado com outros termos, como o desenho urbano, urbanismo e a gestão urbana. Esses elementos auxiliam na formação de políticas urbanas aplicadas com base no plano urbano e da legislação vigente de uma cidade, para gerar qualidade de vida aos cidadãos.

O Ministério das Cidades do Brasil descreve a mobilidade urbana como “a condição criada para as pessoas poderem se locomover entre as diferentes partes de uma cidade” e como a “condição básica para promoção de uma cidade mais acessível, democrática e ambientalmente mais sustentável (GOMIDE, 2008, p. 19).

Assim, cidade e mobilidade urbana precisam estar alinhadas com o planejamento urbano e as mudanças que ele pode proporcionar na qualidade de vida dos cidadãos. Para isso, uma das formas de verificar essas condições é a análise do

transporte de massa, que perpassa os três conceitos, integrando-os.

O transporte urbano é utilizado para determinar os deslocamentos de pessoas e produtos realizados no interior das cidades (FERRAZ; TORRES, 2004). Especificamente o transporte urbano de massa se refere ao transporte público, caracterizado pelo movimento de pessoas dentro das áreas urbanas, usando tecnologias de viagens em grupo, como ônibus e trens[1]. Ele possibilita, portanto, o deslocamento de pessoas no mesmo corredor de viagem com maior eficiência, o que leva a custos compartilhados, já que diminui o custo de transporte individual (ENCYCLOPEDIA BRITANNICA, 2019).

Ressalta-se que os modos de transporte coletivos motorizados urbanos ou transporte de massa são classificados por modos, como, ônibus urbano e suburbano, *Bus Rapid Transit* (BRT), trólebus, VLT, metrô, trem urbano e suburbano (VUCHIC, 2007). Barter *et al.* (2003) descrevem que os sistemas de transporte são particularmente críticos para as cidades grandes e densas, devido ao impacto da motorização dos veículos privados, que geram tráfego intenso e alto índice de poluição ambiental. No transporte público, especificamente nas frotas de ônibus, predomina o uso do diesel e um baixo percentual de uso de eletrificação, o que provoca impacto ambiental negativo para as cidades.

Existem, no entanto, possibilidades de aplicações mais eficientes e menos poluentes de novas fontes de energia (HOLLAND *et al.*, 2021). O uso de fontes de combustível alternativas faz parte de uma busca mais ampla por cidades sustentáveis, habitáveis e equitativas em uma ampla gama de fatores, muitos dos quais são afetados em algum grau pela natureza do sistema de transporte.

Uma das opções de análise dos sistemas de transporte é a prioridade de investimento nos modais de transporte de passageiros (transporte público e no transporte não motorizado) e nas políticas que afetam o ritmo de motorização e o crescimento do uso de veículos particulares.

Outra perspectiva de análise é o uso de tecnologias inteligentes ou autônomas. Na literatura, os *Intelligent Transportation Systems* (ITS - Sistemas Inteligentes de Transporte), de acordo Shaheen e Finson (2013), representam um grupo de tecnologias que pode melhorar o gerenciamento do sistema de transporte e o

[1] Embora haja essa discussão teórica, entendemos que ela não afeta o desenvolvimento do modelo proposto. Por isso, utilizamos, ao longo desta tese, os termos “transporte público” e “transporte de massa” de forma intercambiável.

transporte público, bem como as decisões individuais em torno de muitos aspectos da viagem. Os sistemas inteligentes de transporte, iniciados entre as décadas de 1950 e 1960, apoiaram a melhoria do desempenho do transporte público, fornecendo informações para os usuários, empresas consorciadas e para prefeituras de forma geral. Esses sistemas têm como objetivo aliviar problemas de tráfego rodoviário, como acidentes e congestionamentos, usando as mais modernas tecnologias de informação e comunicação (softwares, câmeras e sensores) (HASEGAWA, 2005; 2010; 2013; HASEGAWA *et al.* 2014). O uso de tecnologias e a transformação digital que perpassam diversas atividades econômicas e caracterizam o comportamento social contemporâneo conecta-se ao conceito de cidade inteligente (LOM *et al.*, 2016; POSTRÁNECKÝ; SVÍTEK, 2017).

Segundo Alavi *et al.* (2018), as cidades inteligentes exploram alternativas para responder ao crescimento da urbanização e suas consequências e desafios (como grande consumo de energia, alterações no clima e meio ambiente, tráfego e congestionamento, entre outros), tendo a tecnologia como facilitadora e alicerce.

Este estudo propõe um modelo para avaliar, classificar e indicar sistemas de transporte de massa, destacando suas opções de tecnologia e sistemas energéticos e tendo como perspectiva sua adequação para cidades inteligentes e sustentáveis.

1.1.1 Introdução

O transporte de massa teve sua evolução em consequência do processo de planejamento urbano pela urbanização no contexto da revolução industrial. Bondes e ônibus foram os primeiros modos de transporte de passageiros para áreas urbanas, utilizados em prol do transporte público e para benefício do usuário. Primeiramente, esses veículos utilizavam cavalos como fonte de energia (tração animal) mas, no decorrer dos últimos duzentos anos, houve a criação e a implantação de outros modos de transportes coletivos movidos a fontes de energia alternativas, não renovavéis e renovavéis, como, o metrô, VLT, BRT e os trens, para os percursos em áreas suburbanas e metropolitanas.

Nos séculos XX e XXI, esses veículos passaram pelo processo de digitalização da informação, com o uso de tecnologias da Terceira e da Quarta Revolução Industrial e de Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), que melhoraram a qualidade de vida do cidadão durante o percurso diário na cidade. A partir desses

novos processos embarcados nos modos de transporte público, os modos de transporte de massa tornaram-se sistemas integrados de dados, melhorando o desempenho da mobilidade urbana.

A integração dos sistemas permite a análise dos serviços prestados a uma cidade inteligente sobre a perspectiva de ouvir a necessidade do cidadão comum e, nesse caso, como essa necessidade será suprida por um processo que possa ser tecnológico e sustentável, a fim de melhorar a governança como um todo (BREUER, WALRAVENS, BALLON, 2014). Meijer e Bolívar (2016) e a norma ISO (*International Organization for Standardization*) 37122 ressaltam que os indicadores e metas para uma cidade inteligente existem para gerar o bem-estar do cidadão. Dessa maneira, os meios para o transporte público estão atualmente associados à gestão das cidades inteligentes e à gestão dos seus indicadores, de maneira que os resultados da gestão priorizem um transporte inteligente e sustentável. Essa filosofia é desenvolvida com base em práticas de sistemas que utilizam a eficiência energética como políticas governamentais sustentáveis nas cidades inteligentes.

Portanto, a proposta desta pesquisa é a criação de um modelo de classificação baseado em tecnologias de transporte e sustentabilidade. Para isso, é necessário discutir questões como, por exemplo, o uso de indicadores para classificar um sistema de transporte de massa como mais ou menos inteligente ou mais ou menos poluente no ambiente das cidades inteligentes. A aplicação desse modelo pode fornecer aos cidadãos informações mais equânimes sobre o transporte público e mais sustentáveis para a sua qualidade de vida e, sobretudo, pode auxiliar os gestores públicos municipais na orientação de políticas públicas para melhorar o transporte de massa para os cidadãos.

A fim de construir esse modelo, esta tese está organizada da seguinte maneira, além dos elementos anteriores: nos demais subitens desta Introdução, apresentaremos as definições de Cidades inteligentes (1.1.1.1), Transporte inteligente (1.1.1.2) e de Transporte sustentável (1.1.1.3) (Capítulo I). Em seguida, são apresentados a Justificativa e os Objetivos Geral e específicos deste trabalho. O item 1.1.3 traz os problemas de pesquisa, relacionados aos objetivos apresentados e o item 1.1.4 trata do Referencial Teórico.

Nessa seção e em suas subseções é realizada uma descrição dos períodos históricos do surgimento dos modos de transporte como bondes, ônibus, metrôs e VLTs utilizados nas cidades, assim como o surgimento e os avanços das tecnologias

embarcadas como os *Intelligent Transportation Systems* (Sistemas Inteligentes de Transporte). Na sequência, tratamos das tecnologias da Terceira e da Quarta Revolução Industrial, assim como a evolução dos sistemas energéticos a diesel e as fontes de energias alternativas e renovavéis de consumo por esses modos de transporte. Na penútlima subseção do Referencial Teórico, é apresentado o ambiente atual das cidades inteligentes com suas tecnologias disponíveis para o transporte público e, na última, é realizado um resumo do referencial, com intuito de prover uma revisão da literatura relacionada ao objetivo de pequisa número 4 e, por meio dele, responder a pergunta 4. Serão apresentadas e discutidas as quatro dimensões dos modos de transporte de massa focalizando a intensificação do uso das tecnologias digitais e de fontes de energias alternativas e renováveis no contexto da cidade inteligente.

O item 1.1.5 descreverá a metodologia resumida dos Artigos 1, 2 e 3, que compõem os resultados e a discussão dos dados desta tese. A opção da tese por artigos ao invés de monografia segue a proposta do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista, que adota preferencialmente esse formato. A tese por artigos, além de mais dinâmica, permite ao autor ir publicando os resultados parciais da pesquisa sem a necessidade da conclusão de todo o estudo.

Na seção resultados e discussão (Capítulo II), são abordados os períodos como estágios de evolução para a classificação dos sistemas de transporte de massa por suas tecnologias inteligentes ou autônomas, para a comunicação dos usuários e suas tecnologias sustentáveis como: mais ou menos poluentes, dependendo do período analisado ao longo da história. Ao final da seção de Resultado e Discussão é proposto o “modelo de classificação de transporte público para cidades inteligentes baseado em tecnologias” com base na criação de indicadores inteligentes e sustentáveis ao transporte de massa. Finalmente, o Capítulo III, Considerações Finais, apresenta as considerações finais, conclusões e recomendações de trabalhos futuros.

1.1.1.1 Cidades Inteligentes

De acordo com Fogel (1966), inteligência é a capacidade de um sistema

adaptar um comportamento para atingir determinados objetivos em uma variedade de ambientes.

Leem e Kim (2013, p. 4) afirmam que uma cidade inteligente pode ser classificada pelo fornecimento de um serviço urbano equilibrado, por meio de uma "cidade inteligente onipresente", isto é, uma cidade altamente conectada por sistemas ou redes de computadores em seus serviços. A importância desses sistemas de informação está em ser um canal que permite que o núcleo gestor ouça as demandas dos munícipes, facilitando a melhora da qualidade de vida das pessoas na cidade. Dessa maneira, os serviços públicos tornam-se especializados (atendem a demandas específicas do município) e competitivos (ofertam serviços com qualidade semelhante à ofertada pela iniciativa privada), refletindo as características de cada cidade e proporcionando a oportunidade de criação de novos valores.

A cidade inteligente pode ser analisada por dois pontos fundamentais: em relação ao seu "progresso" (análise do que se investe em infraestrutura física, operacional e sustentável) e ao seu "futuro" (a maneira como repensa as relações entre governo, gestores municipais, empresas, academia e pesquisa). Uma iniciativa de cidade inteligente pode ser identificada pela agenda atual e pelos esforços em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) para inovação e melhoria de serviços prestados (HALL *et al.,* 2000).

Do ponto de vista da administração das cidades inteligentes, Meijer e Bolívar (2016) destacam que a governança de cidades inteligentes é um processo complexo de mudança institucional e de reconhecimento da natureza política de visões atraentes de governança sociotécnica. Nessa mesma linha, faz parte das normas ISO para "Comunidades e Cidades sustentáveis", a norma ISO 37120, que considera os "Indicadores para Serviços Municipais e Qualidade de Vida". Essa norma está subdividida em duas outras normas, a ISO 37122 — que aborda a aplicação para "Indicadores de Cidades Inteligentes"—, e a norma ISO 37123 ("Indicadores para Cidades Resilientes").

A norma ISO 37122 orienta que o modelo de gestão para cidades inteligentes é desenvolvido e monitorado através de indicadores, que apontam as metas que podem ser alcançadas para melhorar a qualidade do desempenho dos serviços, com o objetivo do bem-estar do cidadão. Meijer e Bolívar (2016) defendem que a governança da cidade inteligente se dá na inter-relação dos aspectos sociais e técnicos, não sendo apenas uma questão tecnológica. Assim, governar uma cidade

inteligente é criar formas de colaboração humana por meio do uso de tecnologias de informação e comunicação. Os gestores da cidade devem perceber que a tecnologia por si só não tornará uma cidade mais inteligente, e que “construir uma cidade inteligente requer uma compreensão política da tecnologia, uma abordagem de processo para gerenciar a cidade inteligente emergente e um foco em ganhos econômicos e outros valores públicos” (MEIJER; BOLÍVAR, 2016, p. 8). Na mesma esteira, Kim (2022) salienta que a operação e a manutenção de serviços nas cidades inteligentes estão se tornando mais importantes do que a implantação de novos serviços, enfatizando as formas de gestão das cidades inteligentes.

Uma cidade inteligente é, portanto, uma cidade que busca o bem-estar dos indivíduos através de processos que aperfeiçoam a qualidade dos serviços, a fim de fortalecer e aprimorar a qualidade de vida de seus habitantes. Essa busca pela qualidade de vida dos cidadãos estabelece a aplicação de filosofias e práticas de sustentabilidade que as tornam inteligentes para o convívio dos habitantes. Essas práticas são guiadas por indicadores que contribuem para apontar os resultados de sustentabilidade das cidades inteligentes e que podem servir como instrumento de resposta ao cidadão sobre o desempenho dos serviços públicos.

Um dos primeiros estudos a consolidar os indicadores para cidades inteligentes, Giffinger *et al.* (2007), utiliza seis campos-chave: 1) economia; 2) governança; 3) vida ou convivência; 4) pessoas; 5) ambiente; e 6) mobilidade. A partir desse trabalho crítico, no âmbito prático, a ISO 37122 cria um selo de qualidade do grau de desenvolvimento dessas cidades a padrões inteligentes e sustentáveis.

Esses seis campos-chave do trabalho de Giffinger *et al.* (2007) compõem um primeiro nível e são subdivididos em 27 domínios, considerados segundo nível, no qual se reconhecem os serviços comumente ofertados num município. Os 27 domínios de segundo nível, por sua vez, são formados por 90 indicadores (terceiro nível) que medem os seus desempenhos de forma analítica.

No primeiro nível, o campo-chave “economia” é formado por seis domínios secundários de avaliação da cidade (espírito inovador, empreendedorismo, imagem da cidade, produtividade, mercado de trabalho e integração internacional). O campo-chave “governança”, por três domínios secundários de avaliação da cidade (consciência política, serviços públicos e sociais e administração eficiente e transparente), já o campo-chave “vida ou convivência” é formado por sete domínios secundários (equipamentos culturais e de lazer, condições saudáveis, segurança

individual, qualidade da habitação, instalações educacionais, atratividade turística e coesão social). O campo-chave “pessoas” é composto pelos domínios secundários educação, formação contínua, pluralidade étnica e a mente aberta, enquanto o campo-chave “ambiente” agrega os domínios secundários qualidade do ar (sem poluição), consciência ecológica e gestão sustentável de recursos. Por fim, campo-chave “mobilidade” é formado por sistema de transporte local, acessibilidade (inter) nacional, infraestrutura de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) e sustentabilidade do sistema de transporte.

Assim, o cenário dos seis campos-chave aplicados nas cidades inteligentes por Giffinger *et al.* (2007) incorporou a discussão sobre recursos, indicadores e desempenho nas cidades inteligentes em relação às normas criadas para cada campo-chave. Ampliando o estudo de Giffinger *et al.*, a ISO 37122 explora e detalha os campos-chave como áreas, melhorando a visualização analítica da alocação dos recursos para construção e aplicação de indicadores específicos na cidades intelgientes. Com isso, ela passa a ter um papel de certificação das cidades inteligentes e resilientes. Juntamente com a aplicação da ISO 37123, busca-se atingir os requisitos da norma ISO 37120 para indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida com intuito de compor como meta padrões de “cidades e comunidades sustentáveis”.

A norma ISO 37122 considera a abordagem holística dos resultados dos indicadores e suas interações para a análise das cidades inteligentes e sustentáveis, mas também esclarece a importância de reconhecer os efeitos antagônicos do resultado de indicadores específicos, sejam eles positivos ou negativos para as comunidades.

O padrão internacional da ISO 37122 orienta as cidades inteligentes na implementação de políticas de desenvolvimento e sugere formas de regulamentação, práticas e tecnologias para a implantação ou melhoria de serviços, visando a qualidade de vida dos cidadãos e o atendimento dos desafios futuros. O objetivo dessa norma é auxiliar as cidades a orientar e avaliar o desempenho da gestão municipal nos serviços prestados a partir de critérios que norteiam a aplicação dos indicadores. Os critérios avaliados nos quais se baseiam os indicadores são representados por:

- Integralidade: convém que os indicadores mensurem e equilibrem todos os aspectos relevantes para a avaliação de uma cidade inteligente.

- Tecnologia neutra: não favorecer uma tecnologia sobre outra, existente ou futura.
- Simplicidade: os indicadores podem ser expressos e apresentados de forma compreensível e clara.
- Validade: os indicadores são um reflexo preciso dos fatos e dados que podem ser coletados usando técnicas científicas.
- Verificabilidade: os indicadores são verificáveis e reprodutíveis. As metodologias são suficientemente rigorosas para dar certeza ao nível de implementação dos critérios.
- Disponibilidade: dados de qualidade estão disponíveis, ou é viável iniciar um processo de monitoramento seguro e confiável a ser disponibilizado no futuro.

Com base nesses critérios, os indicadores recebem a seguinte estrutura separados pelos “temas” para a gestão dos seus serviços prestados as comunidades e para a avaliação da certificação da ISO 37122:

- Tema 1: Governança, empoderamento e engajamento, que possui 19 indicadores.
- Tema 2: Educação e capacitação, que possui 15 indicadores.
- Tema 3: Inovação, criatividade e pesquisa, que possui 10 indicadores.
- Tema 4: Saúde e assistência na comunidade, que possui 28 indicadores.
- Tema 5: Cultura e identidade das comunidades, que possui 4 indicadores.
- Tema 6: Convivência, interdependência e reciprocidade, que possui 15 indicadores.
- Tema 7: Economia, produção e consumo sustentáveis, que possui 72 indicadores.
- Tema 8: Ambiente de vida e trabalho, que possui 27 indicadores.
- Tema 9: Segurança e proteção, que possui 7 indicadores.
- Tema 10: Infraestruturas da comunidade, que possui 91 indicadores.
- Tema 11: Mobilidade, que possui 30 indicadores.
- Tema 12: Biodiversidade e serviços ecossistêmicos, que 9 possui indicadores.

Os indicadores da ISO 37122 colaboram para ações de neutralidade entre os interesses desses agentes, buscando democratizar o acesso de tomada de decisão a todos, tornando os recursos e indicadores mais eficientes e equâmines a todos. Portanto, é uma tendência que a gestão de fluxos dos dados flua de maneira mais efetiva aos interesses dos mais vulneráveis dentro da cidade inteligente com a ISO

37122.

Conforme Nunes (2016), o conceito de gestão dos fluxos de dados das cidades inteligentes também não pode ser compreendido como “neutro”, ainda mais quando se tem a interação entre o poder público e grandes conglomerados comunicacionais e empresas de tecnologia de ponta, que dominam o cenário mundial da tecnologia e do setor de cidades inteligentes. A população também influencia no processo de construção da cidade inteligente, pois consome as tecnologias através dos serviços oferecidos. A gestão desses fluxos é considerada um processo interativo e inteligente por fazer uso estratégico da infraestrutura dos serviços, da informação e da comunicação para o planejamento e a gestão urbana, buscando oferecer resposta às necessidades sociais e econômicas da sociedade.

De acordo com a visão de Breuer, Walravens e Ballon (2014), a construção e avanço das cidades inteligentes utilizam o tipo de modelo de gestão *top-down* (de cima para baixo), que é a construção da cidade com a implementação de novas tecnologias a partir de um processo decisório centralizado na gestão pública, que negocia diretamente com as empresas de tecnologia, sem relevante participação das comunidades impactadas pelas mudanças. Já o tipo de gestão *bottom-up* (de baixo para cima), a administração da cidade inteligente conduz o processo decisório para implementação de novas tecnologias e projetos de cidades inteligentes de maneira participativa, integrando a população local, ou seja, as cidades inteligentes avançam na participação democrática e comunitária.

Em síntese, as cidades inteligentes priorizam a gestão dos indicadores que preservam os recursos, seu uso racional e sua oferta a todos que utilizam a cidade. No que tange a governança da cidade inteligente, ela é construída ouvindo as necessidades dos cidadãos e, no tocante à tecnologia, ela é essencial para os cidadãos, pois sua função cotidiana propicia a resolução de problemas, limitações ou desafios que impactam na qualidade de vida das pessoas. Na próxima seção, descreveremos o transporte inteligente e qual o seu papel no contexto das cidades inteligentes.

1.1.1.2 Transporte Inteligente

Uma vez que o conceito de cidades inteligentes caracteriza-se pelo uso racional dos recursos disponíveis e acessíveis à população, buscando diminuir os riscos

urbanos proporcionados pela alta concentração humana em áreas urbanas sem planejamento a curto e longo prazo, o transporte de massa é um importante indicador de mobilidade inteligente, juntamente com os indicadores de conectividade e operacionalidade. Os conceitos de transporte público inteligente em cidades inteligentes levam em conta o uso de tecnologias da Terceira e Quarta Revolução Industrial, em especial, a conectividade e o compartilhamento de dados para a melhoria do desempenho dos seus serviços através do uso dessas tecnologias.

Segundo Nowacki (2012) e Bunch (2012) os sistemas inteligentes de transporte orientam e processam grandes volumes de dados armazenados em computadores, padronizando e automatizando de forma interativa o gerenciamento de pessoas, veículos e infraestrutura em uma rede de informação. Para a *United States Federal Highway Administration* (US FHWA) (2022), os sistemas inteligentes de transporte público são formados por componentes tecnológicos e programas (softwares) que geram diversos graus de interação de dados em escala, criando funcionalidades para os usuários dos serviços de transporte.

O transporte público inteligente é um sistema de tecnologias que utiliza o processo de virtualização e digitalização dos serviços de mobilidade urbana para os passageiros. A virtualização é a tecnologia que permite que diversas aplicações em sistemas operacionais sejam processadas em uma mesma máquina, e a digitalização é a tecnologia que transforma as imagens e a linguagem analógica da mobilidade urbana em uma linguagem digital. Para o sistema transporte de massa que está inserido dentro sistema do transporte público, essas tecnologias tornam o percurso mais ágil e atualizado para atender aos desafios cotidianos da mobilidade urbana.

O sistema de transporte de massa é formado por modos de transporte urbano motorizados e coletivos de massa de passageiros e podem ser classificados tradicionalmente como públicos — como, ônibus ou *Bus Rapid Transit* (BRT), metrô, Veículo Leve sobre Trilhos (VLT), trólebus, trens urbanos e/ou suburbanos—, ou semipúblico — como é o caso do lotação, da van ou do micro-ônibus (FERRAZ; TORRES, 2004; VUCHIC, 2007; HOEL *et al.*, 2010). Em outras palavras, o sistema de transporte de massa está caracterizado como parte do sistema de transporte público, podendo ser conceituado, em seus aspectos físicos, como um sistema motorizado e coletivo que utiliza os modos de transporte de passageiros, havendo um compartilhamento de espaço e de informações por tecnologias dentro do

percurso da viagem no modo de transporte da área urbana ou metropolitana.

Em uma cidade inteligente, o sistema de transporte de massa deve primar pela preservação dos recursos comunicacionais e energéticos e pelo uso racional desses recursos, por meio da implantação de políticas públicas e de indicadores de gestão. O uso de fontes de energia alternativas e renováveis torna o ambiente urbano menos caótico, congestionado e poluído, de maneira que a pesquisa sobre fontes de energia para os modos de transporte de massa tornou-se imprescindivel para uma vida sustentável nas cidades. No próximo item, focaremos na sustentabilidade do transporte de massa em cidades inteligentes.

1.1.1.3 Transporte Sustentável

As conceituações da sustentabilidade no transporte público podem conectar-se com as de cidades inteligentes devido às diversas preocupações sobre o meio ambiente e a poluição. É observada na literatura uma preocupação com a eficiência energética, como forma de redução de riscos na cidade inteligente. Os avanços da tecnologia de transporte e suas ligações com os ciclos econômicos históricos está relacionado com o uso da energia no transporte por pessoa. Na amostra global de cidades, existe a predominância a diesel e um baixo percentual de uso de eletrificação, o que impacta na sustentabilidade do transporte público (NEWMAN, 2003). Nos períodos de crescimento econômico e urbanização das cidades, existe a tendência e a necessidade de priorização do transporte público e não motorizado. Portanto, é particularmente necessária uma análise crítica dos sistemas de transporte em relação à sua eficiência energética e sustentabilidade para as cidades que são grandes e densas, uma vez que essas cidades tornam-se vulneráveis aos impactos negativos do tráfego como, a composição dos modos de transporte urbano, os custos efetivos, o uso da energia e a poluição do ar (BARTER et al., 2003).

A demanda energética mundial gera problemáticas como a degradação ambiental e a ineficiência energética no transporte público urbano, de maneira que necessário buscar inovações tecnológicas como parte de uma solução para a eficiência energética e a qualidade ambiental, contribuindo para a sustentabilidade energético-ambiental e econômica do transporte público urbano (KNEIB; TEDESCO, 2010).

Os crescentes níveis de poluição e congestionamento de tráfego nas grandes

cidades estão se tornando questões delicadas que poderiam ser amenizadas por sistemas de transporte público com diferentes tipos de veículos de transporte de massa elétricos (ônibus elétricos a bateria, trólebus, bondes, metrô, metrô), que são mais eficientes porque possibilitam grandes reduções de emissões de CO_2 (BARRERO; VAN MIERLO; TACKOEN, 2008). No Brasil, as normas de emissão e procedimentos de certificação atuais não são suficientemente rigorosas para evitar os impactos negativos das emissões geradas pelo aumento da dieselização da frota brasileira (DALLMANN; FAÇANHA, 2016). A União Europeia tem investido em políticas de promoção de redução do consumo de energia no segmento rodoviário do setor de transportes, porém, investimentos em sistemas eficientes e sustentáveis de transporte público e em pesquisa e desenvolvimento, destinados à redução dos custos das tecnologias de motorização alternativa, ainda são pontos que merecem atenção (MARIANO, 2014).

Projetar políticas para o transporte público de ônibus que sejam ambientalmente sustentáveis e economicamente viáveis permite o envolvimento das principais partes interessadas no processo para refletir várias prioridades e preferências no uso das energias renováveis. De acordo com Xylia, Ibrahim e Silveiria (2016) a implantação do combustível livre de fósseis por ordem de emissões de CO_2 de menor para maior (como Electricidade, Óleo Vegetal Hidrotratado (OVH) — ou *Hydrogenated Vegetable Oil* (HVO), em inglês —, Biogas, Etanol e Biodiesel) para o ônibus no transporte público em nível nacional são opções de políticas de energias renováveis que podem ser utilizadas no transporte público como um conjunto de padrões e critérios de avaliação e intervenção para a sustentabilidade nesse tipo de transporte. Nakanishi e Black (2015) descrevem como estratégia governamental para sistema de transporte urbano sustentável o estímulo aos usuários de automóveis usarem mais transporte "verde", isto é, transporte público, caminhadas e ciclismo (NAKANISHI; BLACK, 2015). Alinhado a esse pensamento, Hickman, Hall e Banister (2013) explicam que quase todos esses contextos estão voltados para a redução das emissões de dióxido de carbono.

A sustentabilidade em transportes consiste em atender as necessidades de acessibilidade e mobilidade atuais e futuras com reflexos positivos nas dimensões ambiental (governabilidade), econômica (competividade) e social (equidade), além de uma dimensão institucional que fiscalizaria todas as outras três. O desafio está no desenvolvimento da promoção sustentável do transporte público através de

alterações dos padrões atuais de mobilidade urbana, ou seja, a concepção de um novo modelo de sustentabilidade deve refletir no equilíbrio entre essas dimensões (SEABRA, 2013).

A sustentabilidade no transporte público é conceituada por políticas de fomento a modos de transporte não motorizados ou de massa, que possam ser menos poluentes para as operadoras de transporte público, à conscientização da população em relação ao uso dos modos de transporte com fontes de energias alternativas em relação à dieselização, com intuito de diminuir os impactos da poluição sonora e atmosférica nas áreas urbanas, sem afetar a qualidade do serviço prestado. Dessa forma, consegue-se obter como resultados, a diminuição de escassez de recursos naturais para as próximas gerações.

Uma forma de desenvolvimento do transporte sustentável nas cidades relaciona-se com a avaliação de indicadores como, por exemplo, o governável (com as suas políticas para redução da poluição atmosférica e sonora), o econômico (em relação a investimentos, custos e tempos) e o equânime (tornando as informações do transporte público acessíveis e disponíveis).

De acordo com Raymundo (2018), existem as desutilidades no transporte de passageiros, ou seja, desvantagens no uso do transporte de passageiros, impondo aos passageiros e à sociedade desperdício de tempo, gastos, insegurança, desconforto e impactos negativos nas comunidades em todos deslocamentos. Dessa forma, avalia-se o desempenho dos modos de transporte de passageiros por tendências de suas desutilidades em escala, isto é, o automóvel produz o mais alto nível de desutilidade, seguido pelo ônibus, táxi, motocicleta, trens, caminhada, bicicleta e trens expressos. Segundo o autor, a qualidade e o desempenho do transporte de passageiros limitam-se a uma desutilidade residual, impondo restrições à mobilidade urbana. Raymundo (2018) também aponta que os níveis de desutilidades variam ao longo do tempo, condicionados, em parte, por fatores controláveis que, se bem gerenciados, podem contribuir para melhorias.

Para o autor, existem limitações ou lacunas nos diversos métodos de avaliação do transporte de passageiros, tanto no que diz respeito ao ideológico, quanto a aspectos conceituais, tecnológicos e inovadores. Essas limitações são suficientes para entender que as formas atuais de medição ou avaliação de qualidade e desempenho no transporte de passageiros pode ser inadequada para os propósitos da abordagem da desutilidade. Não é questão aqui desconsiderar os conceitos

consolidados de qualidade, mas de medi-la dentro de seus limites, tendo em vista que haverá sempre um nível residual ou mínimo de (des)qualidade ou desutilidade residual.

Outros indicadores relacionados a tecnologias e sistemas energéticos podem ser incluídos no sistema de transporte público, em especial para a avaliação do sistema de transporte de massa. Dessa maneira, este trabalho se propõe a incluir tais indicadores para oferecer um novo modelo de classificação do transporte de massa em cidades inteligentes. Na próxima seção, a justificativa dessa proposta será detalhada".

1.1.2 Justificativa

Diante das possibilidades/conceitos/quantidades de indicadores disponíveis para a avaliação do transporte de massa em cidades inteligentes, considerando a necessidade de unir esses indicadores em um modelo que possa fazer tal classificação, o modelo aqui proposto evidencia dois desafios para o transporte urbano de passageiros ou de massa. O primeiro está na democratização do acesso universal às informações aos usuários, já o segundo está na busca da qualidade de vida em um ambiente menos poluído atmosfericamente e sonoramente. O não uso de combustíveis com maior concentração de poluentes no transporte massa pode ser um bom indicador de adequação a políticas governamentais sustentáveis, assim como os sistemas de informação e as novas tecnologias ágeis podem facilitar o percurso do cidadão no transporte de massa na cidade inteligente, quando usado em conjunto.

Investir na implantação de políticas governamentais com uso de indicadores pode contribuir para melhorar o desempenho dos serviços de transporte de massa no transporte público. O conceito de gestão *bottom-up*, em que os cidadãos são consultados para levantar e mapear as necessidades do transporte público, especificamente o transporte de massa suburbanos e metropolitano, torna o retrato das limitações do transporte em áreas urbanas mais fiel.

Portanto, a concretização de resolvê-las usando as tecnologias inteligentes e sustentáveis como meios, preocupa-se antes a entender os fins, que seria a melhoria do serviço prestado com foco em informações equânimes para o usuário e a sustentabilidade dos recursos que são usados pelo cidadão. Por outro lado, a gestão

top-down do uso das tecnologias em razão da população, torna-se obsoleta, pois preconiza a análise apenas por gestores na governança dos serviços de transporte público, fornecendo uma visão parcial, de cima para baixo, dessa análise. Ela muitas vezes preestabelece um padrão de serviços de transporte público distorcido, por não consultar a população que o utiliza frequentemente em seu cotidiano. Dentro desse contexto, esta pesquisa propõe a utilização de um conjunto de indicadores para o transporte de massa de cidades inteligentes que formariam um modelo que reduz lacunas sobre temas como acesso à informação, tratamento dos dados através de tecnologias inteligentes e fontes de energias renováveis através de tecnologias sustentáveis.

1.1.3 Objetivos

Objetivo Geral

Tem-se, como objetivo geral, propor um modelo de classificação para sistemas de transporte urbano de massa baseado em tecnologias de transporte, Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) e fontes de energia.

Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho consistem em:

1 Analisar a relação entre o nível de concentração das redes de transporte coletivo de massa, quanto a fontes energia, o modo de transporte e o uso de tecnologias inteligentes, com o nível socioeconômico da cidade.
2 Analisar a relação dos modos de transporte coletivo em cidades inteligentes com as tecnologias inteligentes e sustentáveis embarcadas em ônibus, VLTS e metrôs apresentadas pela revisão de literatura.
3 Analisar a composição e a concentração dos sistemas de transporte urbano de massa em cidades inteligentes com perfil metropolitano, classificando-os como mais ou menos diversos, mais ou menos tecnológicos e mais ou menos limpos ou poluentes.
4 Mapear, caracterizar e diagnosticar, por períodos históricos, a evolução do transporte urbano de massa, classificando-os por estágios dentro da revolução industrial e, por meio disso, propor um conjunto de indicadores para formação do

modelo de classificação.

Problema de pesquisa

As cidades se desenvolvem de maneira diferente por serem sistemas abertos e mutáveis. Suas configuraçãoes econômicas, socioeconomicas e de gestão podem influenciar na dinâmica da formação do sistema de transporte de massa para o cidadão. Algumas cidades podem apresentar ou se adequar a práticas mais ou menos sustentáveis no transporte público. A proposta de um modelo de classificação baseado em tecnologias de transporte, Tecnologias de Informação e Comunicação e Sustentabilidade responde perguntas dos seguintes questionamentos de pesquisa:

Quadro 1 - Estrutura dos objetivos específicos relacionados as perguntas de pesquisa.

Objetivos Específicos	Perguntas de Pesquisa
1. Analisar a relação entre o nível de concentração das redes de transporte coletivo de massa, quanto a fontes energia, o modo de transporte e o uso de tecnologias inteligentes, com o nível socioeconômico da cidade.	1a. Como a oferta de diferentes modos de transporte de massa pode gerar a melhoria da mobilidade aos usuários? 1b. Até que ponto os dados econômicos e socioeconômicos podem ter correlação com os sistemas de transporte massa nas cidades inteligentes?
2. Analisar a relação dos modos de transporte coletivo em cidades inteligentes com as tecnologias inteligentes e sustentáveis embarcadas em ônibus, VLTS e metrôs apresentadas pela revisão de literatura.	2. Quais tecnologias atualmente pesquisadas serão aplicadas num futuro próximo em larga escala, caracterizando um sistema de transporte de massa de cidades inteligentes e sustentáveis?
3. Analisar a composição e a concentração dos sistemas de transporte de massa em cidades inteligentes com perfil metropolitano classificando-os como mais ou menos diverso, mais ou menos tecnológicos e mais ou menos limpos ou poluentes.	3. A composição, concentração e classificação dos sistemas de transporte de massa de uma cidade podem auxiliar a identificar em que estágio ela esteja, e qual a predominância quais tecnologias e fontes de energia ela possui?
4. Mapear, caracterizar e diagnosticar por períodos históricos a evolução do transporte urbano de massa, classificando-os por estágios dentro da revolução industrial, e através disto propor um conjunto de indicadores para formação do modelo de classificação.	4. Como seria possível mapear, caracterizar períodos históricos do transporte público e propor um modelo classificação por tecnologias inteligentes e sustentáveis para o transporte de massa em cidade inteligentes?

Fonte: O autor.

1.1.4 Referencial Teórico Resumido

1.1.4.1 Bondes e Ônibus com Tração Animal, a Vapor ou Elétricos e Metrôs

No século XIX, o transporte público (ou transporte de massa) e os modos de transportes urbano de massa foram desenvolvidos, conceituados e evoluíram de

bondes para os ônibus e, depois deles, foram criados os metrôs, cuja fase de implantação, experimentação e expansão ocorreu nas áreas urbanas de grandes cidades. Essa evolução está descrita nos Quadro 2, 3 e 4:

Quadro 2 - Evolução dos bondes para o transporte público entre o iníco e o fim do século XIX.

Ano	Fonte de Energia	Cidade
1807-1896	Bonde puxado a cavalos	Swansea
1828	Bonde puxado a cavalos	Baltimore
1929-1961	Eletrificação	Loughborough
1832-1917	Bonde puxado a cavalos; vapor e eletrificação	New York
1834	Bateria elétrica	Vermont
1835	Bonde puxado a cavalos	Louisiana
1936-1954	Mecânica a diesel	Loughborough
1839-1848	Bonde puxado a cavalos	Montbrison/ Montrond
1840	Sistema elétrico (cabeamento térreo)	Londres
1858	Bonde puxado a cavalos	Santiago
1863	Bonde puxado a cavalos	Alexandria
1869	Bonde puxado a cavalos	Batavia
1870	Lei do Bondes 1870 *(Tramways Act)*	Londres
1875	Sistema elétrico	São Petersburgo
1877-1929	Energia a vapor	Loughborough
1880-1890	Bateria elétrica	Bendigo/ Adelaide
1881	Sistema elétrico	Berlim
1882-1906	Sistema elétrico (Cabeamento térreo)	Chicago
1886-1888	Gás (nafta, gás; carvão)	Melbourne
1883	Sistema elétrico	Brighton
1883	Sistema elétrico	Viena
1888-1889	Sistema elétrico	Richmond
1896	Sistema elétrico	Lytham Saint Annes
1897	Sistema elétrico	Manchester

Fonte: Ferraz e Torres (2004), Vuchic (2007), Hoel et al (2010), *London Transport Museum* (2020), *Deutsches Museum* (2020), Museu Virtual do Transporte (2020), Museum Verkehrshaus der Schweiz (2020), *New York Transit Museum*, 2020, *Musée des Transports Urbains (2020), Urban Rail* (2020) e White (2002).

Ressalta-se que essa pesquisa bibliográfica e documental está concentrada em fontes de pesquisa como websites de museus e livros históricos sobre o transporte de massa nas cidades durante o período em que o transporte público estava associado ao uso de bondes e ônibus.

No Quadro 2, o transporte público com uso de bondes é fixado, em sua maioria, em algumas cidades europeias e norte-americanas ou cidades próximas das suas capitais dos países. Também aparecem cidades que os testaram ou implementam na Austrália (Oceania), no Egito (África) e no Chile (América do Sul), que foram centros de inovação, fabricação e montagem de bondes ou ônibus. Em sequência, os planejamentos urbanos das vias foram adaptados para esse sistema de transporte urbano de passageiros com trilhos nas ruas, sobrepondo os dois sistemas

de bondes de tração animal a cavalos e eletrificado.

As tecnologias da Primeira Revolução Industrial, que ocorreram na Inglaterra por volta de 1760 até 1850, são adaptadas e implantadas aos bondes, como os sistemas energéticos, máquinas a vapor, sistemas eletrificados (em testagem), carvão (em testagem) e o uso do ferro como material para fabricação. As fontes de energia utilizadas, predominantemente, eram a tração animal e elétrica. Porém, carvão, gás, bateria e diesel já se tornavam alternativas históricas, mas em testes sem sucesso naquela época.

Historicamente, a primeira linha urbana de bondes nos Estados Unidos foi implantada e desenvolvida pelo irlandês-americano, John Stephenson, e percorria o trecho New York e Harlem Railroad, em 1832. Os primeiros bondes usavam cavalos e mulas, geralmente dois em equipe, para transportar os bondes pelos trilhos e o diligente, que seria uma pessoa responsável por gerenciar o veículo. Um cavalo utilizado nessas condições para a época, percorrendo as rotas dos bondes de rua tinha uma expectativa de vida de dois anos (HAMLYN, 1968).

Um ponto principal do Quadro 2 está na “Lei do Bondes 1870” (Tramways Act), sancionada e vigorada para a cidade de Londres, que tinha o objetivo de esclarecer o processo de concessão, permissão e responsabilidade de manutenção ou acidentes para as operadoras de transporte que utilizavam sistemas energéticos pelo contrato de arrendamento. A operadora de transporte poderia adquirir o empreendimento completo, incluindo os bondes elétricos e os cavalos (ou, no caso do elétrico a vapor, utilizando as locomotivas e os reboques com parte do processo de transporte) (KNOX, 1901; POLLIN, 1991; SCHMUCKI, 2012).

Em seguida, os modelos de ônibus tiveram sua evolução no século XIX, conforme o Quadro 3:

Quadro 3 - Evolução dos ônibus para o transporte público entre o iníco e o fim do século XIX.

Ano	Fonte de energia	Cidade
1826-1828	Puxados por cavalos	Nantes
1828-1855	Puxados por cavalos	Paris
1830-1895	Carruagem a vapor (John Scott Russell, 1834)	Londres
1854-1884	Puxados por cavalos	Paris
1881	Carro a vapor (John Inshaw, 1881)	Aston
1881	Trolébus Electromote com fios aéreos (Carl Wilhelm e Werner von Siemens)	Halensee
1893-1898	Combustão (Benz Viktoria)	Siegen/ Netphen/Llamdudno
1897-1901	Ônibus a vapor	Cowes/ Mansfield
1898	Combustão (Daimler)	Londres/Estocolmo/Speyer
1900	Trolébus Lombard-Gérin	Paris

Fonte: Ferraz e Torres (2004), Vuchic (2007), Hoel et al (2010), *London Transport Museum* (2020), *Deutsches Museum* (2020), Museu Virtual do Transporte (2020), *Museum Verkehrshaus der Schweiz* (2020), *New York Transit Museum*, 2020, *Musée des Transports Urbains* (2020).

Como pode-se ver pelo Quadro 3, o transporte público com o uso de ônibus se consolida nas cidades europeias, sobretudo inglesas, francesas e alemãs, que testam ou implementam suas invenções. Como nos bondes, existe semelhança dos centros de inovação, fabricação e montagem dos ônibus estarem situados em cidades ou em suas proximidades de capitais de países. O planejamento urbano para as vias era construído com base do formato de quadriláteros (quarteirões), o que facilitava o fluxo das rotas e implantação de pontos para embarque e desembarque dos ônibus para o sistema de transporte público.

As tecnologias da Primeira Revolução Industrial são utilizadas e, nesse período, forma adicionadas as tecnologias da Segunda Revolução Industrial que ocorreram entre 1850 e 1950. Elas são adaptadas e implantadas em bondes, trólebus e ônibus. Existe, nesse período, a estruturação, massificação e consolidação do processo fabril para os sistemas a vapor, mecânico, eletrificados e de combustão (diesel). O aço e os derivados do petróleo (plásticos) são materiais utilizados para fabricação desses modos de transporte de massa, que utilizavam como os modelos de produção adaptados da indústria dos automóveis e aviões. A invenção dos meios de comunicação, como telégrafo e telefone, auxiliara no planejamento e monitoramento do fluxo do transporte urbano dessas cidades. As fontes de energia predominantes eram a tração animal e elétrica, com testagens para o combustível a diesel no final do século XIX, visando a massificação do seu processo industrial e a superação do uso de tração animal para o transporte de massa e para aumento da capacidade de transporte dos passageiros. O êxodo rural

nos continentes europeu e norte-americano se intensificou e a criação de tecnologias para o uso no transporte público começou a ser fundamental para o planejamento urbano da cidade.

Um dos pilares do transporte público é o ônibus, que tem uma alta densidade histórica, desde o Império Romano, passando por Blaise Pascal (1662 – Paris, França – "*carrosses à cinq sols*"), e por pelo conceito de "OMNIBUS", de Stanislas Baudry, em 1826, na cidade de Nantes na França (RAYMUNDO, 2010, 2013).

Ainda nesse século, foi testado o primeiro modelo de trólebus, o "Elektromote", utilizado no subúrbio de Berna em todo o primeiro semestre de 1882, por Ernst Werner von Siemens. No entanto, a primeira linha experimental, foi desenvolvida por Lombard Gérin na Exposição Universal de Paris de 1900. Já Max Schiemann, em 1901, implantou a primeira linha de trólebus para transporte público em Bielathal (perto de Dresden), na Alemanha (POLLINS, 1991; TROLLEYBOOKS, 2021; BRUNTON, 2000).

Os Quadros 2 e 3 apresentam o desenvolvimento diversificado das tecnologias para fontes de energias no transporte público em áreas urbanas, no que diz respeito à eficiência energética e aos modelos de fonte de energia da Primeira e da Segunda Revolução Industrial.

Nesse período, é observável que as premissas da mecânica e elétrica estruturam o sistema de transformação das fontes de energia a diesel e eletrificada no transporte público. Elas eram predominantes nos modos de transporte de massa das cidades que originaram inovações ao processo dos motores nos bondes, ônibus e trólebus.

As cidades utilizaram essas tecnologias por necessidade de aumento das demandas de mobilidade urbana como opções de modos de transporte de massa para equacionar o trajeto do percurso com mais facilidade para os cidadãos que trabalhavam em fábricas.

Com o advento do aumento sempre contínuo das populações nas cidades, devido ao processo de êxodo rural causado pelo processo de industrialização urbana, começa-se a pensar em um modelo subterrâneo de transporte público. Nessa busca, pesquisa-se a criação do metrô, como é possível analisar na descrição do Quadro 4.

Quadro 4 - Evolução dos metrôs para o transporte público entre o iníco e o fim do século XIX.

Ano	Fonte de energia	Cidade
1863-1890	Motores a vapor	Londres
1868	Motores a vapor	Atenas
1868	Cabeamento elétrico	Nova York
1875	Motores a vapor	Istambul
1890	Elétrica	Londres
1893	Elétrica	Liverpool
1896	Elétrica	Budapeste
1897	Elétrica - Controle de trem de várias unidades *(Multiple-Unit Train Control* - MUTC)	Chicago
1897	Cabeamento elétrico	Boston
1898	Elétrica	Viena

Fonte: Ferraz e Torres (2004), Vuchic (2007), Hoel et al (2010), *London Transport Museum* (2020), *Deutsches Museum* (2020), Museu Virtual do Transporte (2020), Museum Verkehrshaus der Schweiz (2020), *New York Transit Museum*, 2020, *Musée des Transports Urbains (2020), Urban Rail* (2020) e White (2002).

No Quadro 4, pode-se observar que o transporte público com o uso dos metrôs desenvolve os sistemas metroferroviários, fixando-se nas cidades europeias e norte-americanas, que testam ou implementam essas invenções dentro do planejamento urbano. Assim como em bondes e ônibus, os centros de inovação, fabricação e montagem dos modos de metroferroviários, localizam-se nas cidades ou localidades próximas de produção de suas peças, vagões e composições de metrô. O planejamento urbano já estruturado para bondes e ônibus na superfície das vias (ruas, avenidas etc.), desenvolvidos em quadriláteros (quarteirões), facilitou a implantação onerosa da infraestrutura subterrânea de transporte dos metrôs. Devido ao alto custo com a escavação, utilizando a ciência da geotécnica, em que são aplicados métodos de aquisição, interpretação e conhecimento dos materiais da crosta terrestre (solo), o formato em xadrez dos conjuntos de quarteirões auxiliaram na implantação do sistema metroferrovíario na época.

As tecnologias da Primeira e Segunda Revolução Industrial são utilizadas com ênfase na estruturação e massificação do processo fabril para os sistemas mecânicos e eletrificados dos metrôs. O uso do aço e de derivados do petróleo (plásticos) são materiais utilizados para fabricação desses meios de transporte urbano, que utilizam como os modelos de produção adaptados da indústria ferroviária.

A fonte de energia utilizada nas últimas quatro décadas do final do século XIX foi a eletrificada, devido à preocupação com gases emitidos pelos motores a diesel e pelos atritos dos pneus com a pista dos tuneis do metrô, tornando o ambiente tóxico

e nocivo à saúde dos passageiros. O êxodo rural, nos continentes europeu e norte-americano, e a fixação dos trabalhadores nas áreas urbanas com suas moradias e trabalhos, nas cidades, favoreceu o uso do transporte público para melhorar a capilaridade do sistema de rotas sobrepostas. Contudo, a intermodalidade dos passageiros entre bondes, ônibus e metrôs, não acontece, devido à ausência do pensamento sistêmico do transporte urbano, que poderia ser sistematizado e conectado entre estações e pontos de embarque e desembarque. Em áreas urbanas com alta densidade populacional, esse sistema metroferrovíario foi uma alternativa ao transporte público, que era concentrado naquela época apenas nos sistemas de bondes e ônibus. Tanto os bondes quanto os ônibus fixaram suas fontes de energia em sistemas eletrificados, por facilidade e custo da rede elétrica já disponível entre as cidades.

1.1.4.2 Dieselização e Eletrificação do Transporte Público

O transporte público e os modos de transportes de massa passaram por um processo de transição entre fontes de energia de tração a animal e eletrificadas para a fonte de energia a combustível (diesel) para ônibus, mas, também foram consolidados o uso de fontes de energia eletrificadas para bondes (Veículos Leves sobre Trilhos – VLT) e metrôs.

A praticidade do modo de transporte de massa trólebus, se comparado a outros modos na época, se massificou nos Estados Unidos, nos princípios do século XX, pela fábrica Brill de Filadélfia (TROLLEYBOOKS, 2021). Sua aceitação pelas companhias de transporte urbano foi estimulada pelo fator de maior segurança devido ao cabeamento elétrico aéreo, se comparado aos bondes em que o cabeamento era terrestre, evitando, assim, a eletrocução de pessoas e de cavalos. Outro fator era o aumento da capacidade de transporte de passageiros entre trólebus e bondes. No decorrer do século XX, o trólebus tornou-se uma tecnologia intermediária e em desuso, devido à competição com o ônibus a diesel, além de ter uma manobragem difícil, devido aos cabos aéreos nas ruas, o que tornava o trânsito nas cidades congestionado (BRUNTON, 2000).

Porém, o aumento do processo de dieselização pelo modo de transporte de massa ônibus se intensificou com a criação de diversos modelos de ônibus, como é observado no Quadro 5.

Quadro 5 - Modos de transporte de massa nas cidades para o transporte público entre 1901 a 1950.

Ano	Modo de Transporte	Fonte de energia	Cidade
1901-1904	Ônibus	Elétrico	Dresden
1901-1936	Ônibus	Gasolina e Elétrico	Bristol/Londres
1901-1904	Ônibus	Elétrico	Dresden
1905	Ônibus	Diesel	Londres
1906-1919	Ônibus	Vapor	Londres
1910	Ônibus	Diesel	Londres
1911	Trólebus	Elétrico	Leeds/ Bradford
1915	Bondes	Tração animal	Londres
1917	Bondes	Tração animal	Nova York
1919	Ônibus	Gasolina	Londres
1919-1926	Ônibus	Diesel (EAC Tipo K)	Londres
1920	Ônibus	Diesel (Tipo T)	Londres
1923-1943	Ônibus	Diesel	Chicago
1923	Bondes	Tração animal	Pittsburgh
1927	Ônibus	Diesel (Double Deck)	Londres
1932	Bondes	Tração animal	Cidade do México
1932	Ônibus	Diesel (Single/Double deck)	Londres
1932-1940	Ônibus	Diesel (Modelo TN)	Paris
1936-1940	Ônibus	Diesel (Modelo Transit Bus)	Wayne
	Ônibus		Township
1938	Ônibus	Diesel (Modelo Praga NDO)	Praga
1939	Ônibus	Diesel (Modelo Futurliner)	-
1941/1949	Trólebus	Elétrico	Praga
1948/1949	Ônibus	Diesel (642RN, 672RN; 666RN e Single Deck)	-
1949-1953	Ônibus	Diesel (Modelo 430A)	-
1949-1955	Ônibus	Diesel (Modelo O3500)	-
1950	Ônibus	Diesel Modelo AEC Routemaste)	Londres

Fonte: Hamlyn (1968), Ferraz e Torres (2004), Vuchic (2007), Hoel et al (2010), *London Transport Museum* (2020), *Deutsches Museum* (2020), Museu Virtual do Transporte (2020), *Museum Verkehrshaus der Schweiz* (2020), *New York Transit Museum*, 2020, *Musée des Transports Urbains (2020), Urban Rail* (2020) e White (2002).

Ao final desse período, o combustível fóssil diesel teve a sua consolidação de uso nos ônibus urbanos, metropolitanos e rodoviários. Esse processo de industrialização, intensificado pelos modelos disponíveis de ônibus, foi impactado, em parte, pelos modelos criados na Primeira e a Segunda Guerra Mundial e, depois

disso, esses modelos seriam adaptados para o uso escolar e de transporte de passageiros urbanos nas cidades (*LONDON TRANSPORT MUSEUM*, 2020).

No Quadro 5, nota-se que o transporte público concentra-se nas cidades europeias e norte-americanas, que testam ou implementam suas invenções para os sistemas rodoviários e municipais de ônibus. Os centros de inovação, fabricação e montagem desses modos de transporte público começam a ser desenvolvidos por empresas transnacionais e multinacionais em diversos países, sem a centralização nas proximidades de onde o sistema é implantado pelo planejamento urbano das cidades. São implantadas na infraestrutura dos sistemas transporte estações fixas (paradas de ônibus) e centrais rodoviárias para facilitar o planejamento urbano e a gestão urbana das cidades (TORRES, FERRAZ, 2004). O sistema de linhas de ônibus passa a ser uma alternativa de baixo custo, se comparado aos sistemas de bondes, trólebus e metroferroviários, porque os gastos com infraestrutura de engenharia civil e engenharia elétrica, eram menores para ônibus. As tecnologias da Primeira e da Segunda Revolução Industrial são utilizadas, na estruturação e massificação do processo fabril para os sistemas mecânicos e eletrificados para os ônibus. Aço e derivados de petróleo são materiais utilizados para fabricação dos modelos de produção da indústria de ônibus, já começando a se consolidar no transporte público entre fornecedores e compradores. A fonte de energia utilizada predominante era a combustão.

Os sistemas de bondes por tração animal e elétricos foram sendo trocados gradualmente nesse período. Em áreas urbanas com alta densidade populacional, esse sistema de transporte transformou-se em uma alternativa ao transporte público, que era concentrado e dependente, naquela época, apenas dos sistemas de bondes.

1.1.4.3 Transporte Público e Sistemas Inteligentes de Transporte

O transporte público e os modos de transporte urbano de massa passaram por um processo de embarque e monitoramento das tecnologias de transporte inteligente predominantemente conceituada como *Intelligent Transportation Systems* (ITS) conforme o Quadro 6.

Quadro 6 - Evolução dos Sistemas Inteligentes de Transporte entre meados do século XX e início século XXI para o transporte público.

Autor	Fase/ Gerações	Período		Tecnologias
Nowacki (2012)	Três fases históricas dos ITS	1ª Fase	1970-1980	Orientação de veículos em rotas usando processamento de dados em grandes computadores e sistemas de comunicação
		2ª Fase	1980-1994	Tecnologias de armazenamento de dados em larga escala
		3ª Fase	1994-2007	Aplicação prática e padronização e cooperação internacional
Bunch (2012)	Gerações de ITS	Primeira Geração (ITS 1.0)	2000	Infraestrutura unidirecional baseada em ITS
		Segunda Geração (ITS 2.0)	2000-2003	Tecnologia de comunicação em dois sentidos
		Terceira Geração (ITS 3.0)	2004-2005	Operações automatizadas de veículos e operações automatizadas e interativas do sistema e gerenciamento do sistema
		Quarta Geração (ITS 4.0)	2006-2011	Multimodal Incorporando dispositivos móveis pessoais, veículos, infraestrutura e redes de informação

Fonte: O autor, com base em Nowacki (2012) e Bunch (2012).

Os ITSs são pesquisados e implantados nos sistemas de transportes rodoviários e urbanos desde as décadas de 1960 e 1970, passando por diversas atualizações tecnológicas (NOWACKI, 2012; BUNCH, 2012) e predominando a partir de então.

Associadas aos modos de transporte urbanos de massa, para a sua operacionalização no sistema de transporte urbano, têm-se as tecnologias utilizadas em transporte público coletivo urbano, sendo um conjunto de 14 tecnologias como, por exemplo, registrador mecânico de passageiros, registrador eletrônico de embarques e desembarques, emissor de comprovante de pagamento, cobrador automático com bilhete magnético, cobrador automático com cartão inteligente, rádio comunicador, identificador de coletivos, registrador de passagem de coletivos, rastreador de coletivos por satélite, registrador do comportamento do condutor e do veículo, registrador de viagens, comunicador com usuários, acionador de semáforo, vigiador de locais, de vias e de interior de coletivos (HOEL *et al.*, 2010; FERRAZ; TORRES, 2004).

Para a U.S. *Federal Highway Administration* (US FHWA) (2000; 2022) existem uma série de componentes tecnológicos e programas que se inter-relacionam em vários graus de escala. Agrupados, esses componentes assumem tais funcionalidades:

1. Autoestrada, Gerenciamento de Incidentes e Emergências e Cobrança Eletrônica de Pedágio (*Freeway, Incident, and Emergency Management, and Electronic Toll Collection*);
2. Gestão Arterial (*Arterial Management*);
3. Sistemas de Informação do Viajante (*Traveler Information Systems*);
4. Sistemas Avançados de Transporte Público (*Advanced Public Transportation Systems*);
5. Operações de veículos comerciais (*Commercial Vehicle Operations*);
6. Problemas de interoperabilidade (*Interopability issues*);

Outra classificação elaborada pela *Federal Highway Administration* (2000, 2022) é o agrupamento os investimentos por tecnologias em comum:

1. Detecção, normalmente a posição e velocidade dos veículos na infraestrutura;
2. Comunicação, de veículo para veículo, entre veículo e infraestrutura, e entre infraestrutura e operações e gestão de transporte centralizado;
3. Computação, processamento de grandes quantidades de dados coletados e comunicados durante as operações de transporte;
4. Algoritmos, normalmente métodos computadorizados para operar o transporte de forma dinâmica sistemas.

Nowacki (2012) identifica três fases na história no ITS que englobam os períodos de 1970 a 1980 (na primeira fase), de 1981 a 1994 (na segunda fase), e de 1994 a 2012 (na terceira fase), gerando um panorama de vários tipos de programas que foram sendo atualizados para as rodovias, estradas e transporte urbano. Já Sussman (2005) explica que a sigla ITS surgiu nos Estados Unidos no fim dos anos 80, com foco em proporcionar uma melhora no sistema de transportes do país, com

uma equipe de pessoas tinha o foco como um todo (grandes congestionamentos, segurança e meio ambiente).

Nwagboso (1997) ressalta que a aplicação do ITS no transporte público tem objetivos de aumento do controle de viagens, determinar qualidade de serviços e flexibilidade, auxílio para o sistema de integração tarifária, aprimoramento do sistema de informação e segurança ao usuário e facilitação ao acesso à multimodalidade dos modos de transporte. Dimitrakopoulos *et al.* (2020) relaciona o futuro do ITS e a mobilidade inteligente e descreve que, com a utilização dos ITS como suporte para a tomada de decisão e auxílio à conectividade veículo a veículo (V2V) e veículo a infraestrutura (V2I) é facilitada a troca de dados e informações, com dados que são armazenadas e coletadas de diferentes fontes e que envolva a população nessa rede de comunicação.

Já sob a análise de Singh e Gupta (2015), os ITS são formados por quatro partes principais, como:

1. Sistema Avançado de Transporte Público ou APTS (*Advanced Public Transportation System*);
2. Sistema Avançado de Gerenciamento de Tráfego ou ATMS (*Advanced Traffic Management System*);
3. Sistema Avançado de Informações ao Viajante ou ATIS (*Advanced Traveller Information System*);
4. Sistema de Gerenciamento de Emergências (*Emergency Management System*).

Sobre esse período, é importante descrever que o uso de tecnologias para fontes de energia fica concentrado o uso de combustíveis fósseis, mais especificamente, o diesel, para ônibus. Para metrôs e VLTs, há predominância de redes de energia eletrificadas nos trilhos dos sistemas subterrâneos e em superfície alternados. Portanto, nesse período, as tecnologias para os sistemas energéticos foram renováveis pela eletrificação nos sistemas metroferroviários, e não renováveis pelos sistemas rodoviários de ônibus. Independente de ônibus, VLTs ou metrôs, os ITSs eram embarcados para facilitação da comunicação entre usuários do transporte de massa auxiliando com as Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) a comunicação monitoramento da mobilidade urbana.

O transporte público fixou o uso dos ITSs em cidades de países europeias, norte-americanas, canadenses, japonesas e australianas que criaram programas inovadores na época de gerenciamento com novas tecnologias de transportes. Visto que os testes e as implementações começaram, nesse período, com invenções para os Sistemas Inteligentes de Transportes em rodovias e áreas urbanas e metropolitanas. Os centros de criação e inovação passaram a produzir programas de cooperação público/privado para planejamento e monitoramento das redes de transporte. Os processos fabris de mecânica e elétrica na fabricação de ônibus, trólebus, VLTS, metrôs e trens consolidaram-se por tecnologias que atualizaram o desempenho dos materiais como aço e plásticos embarcadas nos veículos. As tecnologias da Primeira e da Segunda Revolução Industrial foram atualizadas e a elas foram adicionadas nesse período tecnologias da Terceira Revolução Industrial, como os computadores, satélites, robôs e televisores combinados com os sistemas de informação. Dessa forma, houve a expansão das multinacionais produtoras de sistemas de ônibus e metrôs. A massificação das redes de informática, eletrônica e robótica auxiliaram a aumentar o volume de coleta os dados do transporte para melhorar a tomada de decisão das operadas de transporte público/privado. O uso de componentes elétricos e eletrônicos foi feito maciçamente pelas indústrias de tecnologias nos meios de transporte urbano.

No final dessa fase, surgem as cidades inteligentes, com o uso de Tecnologias da Informação e Comunicação e da Quarta Revolução Industrial, que utilizam a interconectividade e hiperconectividade para transmissão dos dados dos Sistemas Inteligente de Transporte Público. O compartilhamento de dados pela internet e do tipo de geração de Internet (se 3G, 4G ou 5G) pode influenciar a qualidade dos serviços prestados, sobretudo, na transmissão dos dados de transportes, e na sua velocidade em tempo real. Isso seria um dos fatores tão necessário a milhões de dados de mobilidade urbana, gerados pelos modos de transporte e usuários. Na próxima subseção, com o método de revisão de literatura serão abordados os conceitos e as críticas a cidade inteligente e quais tecnologias inteligentes e sustentáveis estão disponíveis para o transporte de massa nesse ambiente.

1.1.4.4 Transporte Público Inteligente e Sustentável nas Cidades Inteligentes

De acordo com Rizzon (2017), foi na década de 90 que se iniciaram os

primeiros estudos buscando desenvolver o conceito de Cidades Inteligentes (*Smart Cities*), com base no desenvolvimento, aplicação e utilização de Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs). Dessa forma, devido à forte relação com a tecnologia, apareceram diferentes terminologias para caracterizá-la, abrindo lacunas no desenvolvimento do conceito, e dificultando a caracterização das terminologias propostas, portanto, esse tema conecta-se à complexidade do planejamento das cidades e seus investimentos.

Conforme descreve a European Smart Cities (2015), o forte relacionamento com a tecnologia, que está em constante aprimoramento com diversas terminologias de cidades inteligentes e do que é uma cidade inteligente, faz com esse seja um conceito em aberto, dificultando sua caracterização permanente e de uma única forma.

Segundo Papa *et al.* (2015), o conceito de cidade inteligente não é absoluto, embora haja uma convergência para temas relacionados às tecnologias de informação e comunicação para melhorar a qualidade de vida das pessoas.

As cidades inteligentes podem ser construídas através das tecnologias para estimular a criatividade, diversidade, educação, e para estruturar as instituições através do desenvolvimento de políticas e do perfil de governança racional e sustentável (NAM; PARDO, 2011; LEE *et al.* 2013).

O conceito de cidades inteligentes propõe estruturas iniciais para a formação de uma cidade, como a estrutura tecnológica descrita por Yovanof e Hazapis (2009), Anthoupolos e Fitsilis (2010), Nam e Pardo (2011), e a estrutura humana (NAM; PARDO, 2011), com intuito de oferecer bem-estar ao seu cidadão.

As cidades inteligentes exploram a relação entre as tecnologias e a sua capacidade de interação cotidiana e sustentável na área urbana, como é visto no Quadro 7.

Quadro 7 - Conceituações sobre Cidades Inteligentes**.**

Autores	Conceitos
Droege (1997)	É o processo de reconstrução virtual de uma cidade através de suas conexões e espaços por novas tecnologias entre os seus moradores.
Ishida e Isbister (2000); Yovanof e Hazapis (2009); Lee, Hancock e Hu (2014)	A cidade é uma comunidade formada por uma infraestrutura computacional flexível orientada para serviços com padrões abertos a inovação que atendam sua população.
Komminos (2008)	As cidades são territórios que possuem sistemas de inovação e com instituições de Pesquisa Científica e Tecnológica com foco na gestão do conhecimento e baseada no ambiente virtual, na gestão colaborativa e nos espaços de inovação.
Steventon (2010)	São ambientes inteligentes implantados através de tecnologias de informações e comunicação criando espaços inteligentes em áreas urbanas.
Giffinger *et al.* (2007); Papa *et al.* (2015)	A cidade inteligente é formada por campos-chaves formados pelas seguintes áreas, como: economia inteligente, governança inteligente, convivência inteligente, ambiente inteligente e mobilidade inteligente.
Holands (2008); Washburn *et al.* (2009); Anthopoulos e Fitsilis (2010), Petrolo, Loscri e Milton (2014)	As cidades inteligentes visam tornar os componentes de infraestrutura e serviços essenciais de uma cidade mais inteligente, interligado e eficiente ao seu usuário.
Jang e Suh (2010)	É uma cidade monitorada pelas autoridades através de uma rede, e por outro lado, os usuários podem acessar os serviços independentemente de qualquer lugar que esteja.
Leem e Kim (2013); Hall *et al.* (2000)	As cidades podem ser classificadas relacionando o seu nível de tecnologias que ela aplica e adota para sua população.
Petrolo, Loscri e Milton (2014)	Cidades inteligentes utilizam padrões abertos para a interoperabilidade, nesse caso, dois componentes de um sistema, desenvolvidos como ferramentas diferentes, de fornecedores diferentes, podem ou não atuar em conjunto, gerando aos cidadãos serviços utilizados em áreas urbanas.
Rizzon *et al.* (2017	Uma cidade inteligente é uma cidade que investi em tecnologias e aplica o aprendizado social de suas mudanças ocorridas para atingir o propósito de integração e interligação dos diferentes sistemas que regem a vida em sociedade.
Hatuka *et al.* (2018)	É uma cidade que utiliza para sua eficiência e crescimento econômico, aspectos como: globalização, criatividade, sustentabilidade, resiliência e inteligência dentro de um contexto de mudanças climáticas e dinâmicas sociais dentro das comunidades urbanas.
Caragliu e Bo (2019)	A cidade inteligente desenvolve investimentos em áreas, humanas, sociais, de transporte e infraestrutura de comunicação moderna, conduzindo a um crescimento econômico sustentável e de elevada qualidade de vida.

Fonte: Adaptado de Droege (1997), Ishida e Isbister (2000), Yovanof e Hazapis (2009), Lee, Hancock e Hu (2014), Komminos (2008), Steventon (2010), Giffinger *et al.* (2007), Papa *et al.* (2015), Holands (2008), Washburn *et al.* (2009), Anthopoulos e Fitsilis (2010), Petrolo, Loscri e Milton (2014), Jang e Suh (2010), Leem e Kim (2013), Hall *et al.* (2000), Caragliu e Bo (2019) e Hatuka *et al.* (2018).

De forma geral, os conceitos de cidades inteligentes podem ser estruturados por campos-chaves, indicadores, categorias ou pilares. Nesse caso, são apresentadas, a seguir, visões diferentes de como estruturar uma cidade inteligente.

Uma cidade inteligente pode ser estruturada, analisada e evoluir por campos-

chave e indicadores idênticos ou semelhantes, com o passar do tempo, em diferentes cidades, em diferentes estágios socioeconômicos, econômicos e ambientes, contribuindo para a evolução destas características (GIFFINGER *et al.*,2007). Alawadi *et al.* (2012) afirmam que existe a visão de oito categorias para a composição das cidades inteligentes, que são: tecnologia, gestão e organização, contexto político, governança, pessoas e as comunidades, a economia, construção de infraestrutura e o meio ambiente que primam pelo bem-estar do cidadão.

Em outra perspectiva, Joshi *et al.* (2016) mencionam a composição da Cidade Inteligentes por seis pilares: o social, da gestão, da economia, dos aspectos legais, da tecnologia e da sustentabilidade.

Em outras abordagens, autores enfatizam a especificação de quais tecnologias são usadas nas cidades inteligentes em torno do bem-estar de seus usuários que utilizam os seus serviços públicos ou privados.

Pesquisas descrevem o conceito de Indústria 4.0 (I4.0) como um segmento próximo das Cidades Inteligentes, sendo que a integração de tecnologias de computação está presente em todos os processos da cidade (LOM *et al.*, 2016, POSTRÁNECKÝ; SVÍTEK, 2017).

De acordo com Singh *et al.* (2020), a integração dos dispositivos físicos ao mundo cibernético por redes computacionais com dispositivos e sensores para aplicações inteligentes na cidade inteligente, faz com que a infraestrutura dessa cidade evolua a padrões de melhoria constante do seu desempenho. Dessa forma, a infraestrutura é orientada por tecnologias da Indústria 4.0, como IoT, baseada em Aprendizado Profundo (*Deep Learning*), Blockchain, Armazenamento em Nuvem, resolvendo problemas de latência de comunicação, centralização e escalabilidade dos aplicativos e sistemas informatizados utilizados.

Os conceitos sobre cidades inteligentes nessa revisão de literatura descrevem que houve o avanço do grau de autonomia dos serviços prestados com o uso de tecnologias específicas ou um sistema delas. Portanto, a informação para os usuários em áreas urbanas melhorou através de conceitos como conectividade, digitalização e virtualidade entre serviços prestados e as tecnologias disponíveis. Os autores do final século XX e início século XXI expõem a diferença entre tecnologias e serviços com o intuito de gerar bem-estar social e qualidade de vida para o cidadão.

Outro ponto de vista que a revisão da literatura aborda são as críticas ao conceito de cidades inteligentes, o que se torna uma parte relevante para o avanço

da análise das lacunas não exploradas em pesquisa. O próprio uso do termo cidades inteligentes de maneira indiscriminada e superficial a diversos interesses de grupos específicos, que podem trazer um viés parcial, único, não democrático e não compartilhado de aplicação da cidade inteligente a sociedade como um todo. Em sua profundidade, portanto, existem autores que criticam o conceito de cidade inteligente descrevendo impactos negativos ou limitações ao termo.

Rizzon *et al.* (2017) explicam que apesar de todo o investimento em tecnologias para se tornar uma cidade inteligente, se não houver a participação e se não for observado o aprendizado social dessas mudanças, elas poderão não atingir o propósito de integração e interligação dos diferentes sistemas que regem a vida em sociedade. Portanto, todos os profissionais envolvidos no planejamento urbano, podem ser influenciados por interesses que não o benefício coletivo da comunidade/cidade onde estão inseridos. A relevância do cidadão como ator ativo, exigente, o transforma em um agente de mudança de seu meio.

Incluindo Bria e Morozov (2020), esses autores alegam que a aplicação do conceito de cidades inteligentes pode trazer enormes custos políticos e sociais, mesmo que entreguem soluções nas cidades que anteriormente por meios políticos. Existem pontos na obra que auxiliam a entender essa perspectiva sobre as cidades inteligentes como:

- O controle e a deliberação democrática que era dos cidadãos e governos são repassadas às empresas de tecnologia;
- O domínio de multinacionais de tecnologias que prestam serviços à cidade inteligente e, caso ocorra um apagão serviços por essa empresa, é possível um ambiente caótico e sem resiliência;
- A falta de privacidade e policiamento preditivo pelo uso das tecnologias, afetando a liberdade do indivíduo, os autores Jang e Suh (2010) também exploram parte desse tema com importância a cidade inteligentes como um todo;
- A necessidade de estabelecimento de estratégias regulatórias sobre os dados dos cidadãos, onde possa haver neutralidade entre as ações do governo municipal e as empresas de tecnologias, é importante mencionar que a ISO 37122 também comenta este ponto. Nesse ponto, discute-se a relação sustentável entre as operadoras de transporte, os governos municipais e as empresas de tecnologia na criação e desenvolvimento das cidades inteligentes;

- A “gentrificação” dentro da cidade inteligente é acelerada pelo processo tecnológico. O processo de gentrificação é quando o mercado imobiliário substitui a população mais pobre pela nova classe média, mudando o perfil de um bairro, por exemplo. Dessa forma, acontece uma mudança no perfil econômico e social daquela localidade (GLASS, 1964);
- Tudo pode ser tornar “solucionismo tecnológico”. Esse conceito significa que para todos os problemas, temos uma resposta rápida e genérica para resolvê-lo com o uso de tecnologias de última geração (BRIA, MOROZOV, 2020). Por exemplo, por que um governo investiria na reconstrução dos arruinados sistemas de transporte público, tendo a opção de simplesmente usar Big Data para criar incentivos personalizados para cada passageiro, a fim de desencorajá-los a fazer viagens em horários de pico? Dessa forma o solucionismo é reativo, porque ele desarma, desativa e descarta toda alternativa política, portanto o solucionismo tecnológico, limita a resolução dos problemas a apenas o uso de tecnologias, não priorizando o cidadão, mas sim o mercado onde ele está inserido e consumo dessas tecnologias, sem a devida análise específica.

Para Bria e Morozov (2020), o processo de emancipação tecnológica, também pode nos tornar escravizados e dependentes por essas tecnologias nas cidades inteligentes, deixando um legado sombrio de falta de participação compartilhadas nas decisões da cidade e gerando uma gestão democrática do município deficiente.

Um ponto crucial será a discussão sobre a soberania tecnológica de cada município onde está inserida nesta cidade inteligente, dessa forma, serão criados subsídios para que a neutralidade entre governos e empresas de tecnologia possam ser mais assertivos ao perfil de cada região ou área da cidade inteligente.

Portanto, Bria e Morozov (2020) contemplam uma agenda do futuro, em que podemos alinhar o planejamento urbano da cidade inteligente a práticas sustentáveis. Hall (2000) já declarava dois pontos fundamentais a serem analisados na cidade inteligente, o seu “progresso”, em que se investe na infraestrutura física, operacional e sustentável, e o seu “futuro”, que exige repensar as relações entre governo, gestores municipais, empresas, academia e pesquisa neste contexto de cidade inteligente.

Acrescentando Pagnoulle e Poole (2016) à revisão, eles descrevem que a retórica implantada em torno da cidade inteligente prioriza os requisitos de eficiência, otimização, previsibilidade, facilidade e segurança. Porém, para se alcançar esses

requisitos, talvez o mais inteligente dos projetos de cidades inteligentes não precise de sensores e computadores, ou uma rede de computadores implantada no tecido urbano pelo planejamento urbano apenas. Mas, de ouvir o perfil de quem são a base da pirâmide social, os cidadãos comuns que utilizam os serviços da cidade. Ao invés de priorizar o que seria apenas, as tomadas de decisão exclusivas de empresas de tecnologias e governantes.

Esse conceito de Pagnoulle e Poole (2016), de certa forma, se assemelha ao conceito de Breuer, Walravens e Ballon (2014), de *bottom-up*, sobre a capacidade de tomadas de decisão do cidadão comum nas escolhas da cidade inteligente, e de *top-down*, sobre a capacidade de decisão das empresas de tecnologia e governantes apresentados na seção de Introdução desta tese. Isso impacta no requisito de "neutralidade tecnológica" proposto pela norma ISO 37122 sobre a certificação de cidades inteligentes e sustentáveis para a implantação e indicadores e suas tecnologias de acordo com a necessidade de cada população, em cada área da cidade inteligente.

Segundo Mosco (2019), as cidades inteligentes são impulsionadas pela tecnologia que aprofundam a vigilância e transferem a governança urbana para executivos corporativos não eleitos e parcerias público-privadas, gerando assim, a diminuição do processo democrático de escolhas do cidadão e da sua tomada de decisão sobre quais serviços e tecnologias podem contribuir para o bem-estar da população que reside na cidade inteligente.

Ao finalizar esta revisão da literatura sobre cidades inteligentes, é possível refletir que os conceitos, proposições de indicadores para formação de suas estrutura e críticas ao termo pelos autores irão impactar no transporte de massa, já que ele está inserido na mobilidade urbana, em que é parte sensível da área de mobilidade urbana em uma cidade inteligente.

Por exemplo, foram constatados o uso de Ônibus Elétrico a Bateria – OEB (*Battery Electric Buses* - BEBs), de ônibus elétricos (E-buses), VLT inteligente (*Smart Tramways*) e o metrô com um conjunto de tecnologias a disposição para a melhoria da comunicação e informação inteligente e da sustentabilidade ambiental.

Algumas pesquisas apontam de novas tecnologias aos já tradicionais modos de transporte de massa no século XX. No contexto das cidades inteligentes e seus sistemas transporte de massa, podem ser encontradas as seguintes tecnologias embarcadas detalhadas pelos seguintes autores, como é observado no Quadro 8:

Quadro 8 - Tecnologias inteligentes e sustentáveis no transporte de massa em cidades inteligentes do inicio doséculo XXI

Autores	Modos de transporte	Tecnologias
Shaikh *et al.* (2020)	Ônibus Elétrico (E-Bus)	Aplicativos/Rastreamento
Soni e Upadhyay (2016)		Fonte de energia verde
Utsumi *et al.* (2013)		Eficiência energética E sustentável
LI *et al.* (2013)		Eficiência energética eólica sustentável
Zhang *et al.* (2017)		Energia elétrica e otimização de rotas
Liberto *et al.* (2018)		Eficiência energética e sustentável
Piazza *et al.* (2019)		Rede elétrica e inteligentes e Mobilidade Inteligente
Gabbar *et al.* (2019)		Fonte de energia limpa
(Meishner *et al.* (2017)		Eficiência energética e sustentabilidade
Ferguson *et al.* (2019)		Transição para eletrificação
Kadam *et al.* (2018)		Ônibus Inteligente
Muthuselvil *et al.* (2019)		Sistemas de ônibus inteligentes baseado em Internet das Coisas
Velásquez *et al.* (2011)		Ônibus a bioetanol
Mouratidis e Serrano (2020)	Ônibus a bateria *(Battery Electric Bus* – BEB)	Ônibus autônomo
Correa *et al.* (2019)		Eficiência e transição energética entre Diesel, Híbrido, Elétrico e com Células de Combustíveis
Lv *et al.* (2021)		Aprendizado Profundo (Deep Learning)
Tesar *et al.* (2020)		Vida útil da bateria e demanda de energia
Holland *et al.* (2021)		Eficiência energética e sustentabilidade
Ke *et al.* (2020)		Rede inteligente, energia residual e energia eólica
Mahmoud *et al.* (2016)		Fontes alternativas de energia híbrida, célula de combustível e bateria
Majumder *et al.* (2019)		Carga adicional por carregamento fotovoltaico
He *et al.* (2020)		Eficiência energética e sustentabilidade por carregamento inteligente
Ma *et al.* (2021)		Eficiência Energética e Rede Inteligente
Belhassen *et al.* (2019)	Veículo leve sobre trilhos (VLT)	Algoritmos e técnicas de detecção facial e objetos por aplicativo
Popescu e Popescu (2013)		Rede inteligente e energias renováveis
Vernard *et al.* (2009)		Dispositivo computacional em tempo real para deficientes visuais
Chen *et al.* (2019)		Aprendizado Profundo (*Deep Learning*)
Retscher e Bekenova (2020)		Wi-fi e sensores
Akcin *et al.* (2016)		Eficiência energética e sustentabilidade
Savchuk e Nahorny (2020)		Tecnologias sustentáveis e ecológicas
Kim *et al.* (2021)	Metrô	Big Data e Inteligência Artificial
Piao *et al.* (2020)		Aprendizado Profundo (*Deep Learning*) e Realidade Virtual
Kang *et al.* (2020)		Eficiência energética por algoritmos
Loy-Benitez *et al.* (2020)		Sensores para qualidade do ar
Jafari *et al.* (2021)		Energia de ruptura regenerativa (Regenerative Breaking Energy - RBE)

Fonte: Adaptado de Shaikh *et al.* (2020), Soni e Upadhyay (2016), Utsumi *et al.* (2013), Li *et al.* (2013), Zhang *et al.* (2017), Liberto *et al.* (2018), Piazza *et al.* (2019), Gabbar *et al.* (2019), Meishner *et al.* (2017), Ferguson *et al.* (2019), Kadam *et al.* (2018), Muthuselvil *et al.* (2019), Velásquez *et al.* (2011), Mouratidis e Serrano (2020), Correa *et al.* (2019), Lv *et al.* (2021), Tesar *et al.* (2020), Holland *et al.* (2021), Ke *et al.* (2020), Mahmoud *et al.* (2016), Majumder *et al.* (2019) e He *et al.* (2020).

Os sistemas “e-bus” são ônibus com baterias elétricas acopladas como fonte de combustível e com tecnologias digitais para comunicação. Mesmo que parcial, a eletrificação da frota de ônibus no transporte público contribui para a redução das emissões de poluentes associadas ao tráfego, bem como o consumo de combustível e de eletricidade (VALENTI, *et al.*, 2017; BRENNA *et al.*, 2019).

Conforme Elma e Garbber (2020), o carregador ultrarrápido é um fator chave crítico para a eletrificação do transporte de e-buses, o transporte público tem um grande potencial para reduzir a emissão de carbono com a transição para e-buses. Outro ponto sobre e-buses, de acordo com Justino *et al.* (2014), é a evolução natural dos veículos de transporte público para o sistema do *Bus Rapid Transit* (BRT), porém, o peso e o volume das baterias são um desafio para os veículos eletrificados. O sistema de transporte público de e-bus pode ser aprimorado em conjunto com o sistema de wi-fi para o aumento de sua capacidade em caso de emergências e desastres (LIN *et al.*, 2016).

Nos VTL, os benefícios da aplicação de técnicas de Big Data sobre dados originados por dispositivos baseados em Internet das Coisas implantados em cidade inteligentes conseguem entender o perfil do viajante (MORENO *et al.*, 2016). O conceito de um VLT inteligente (Smart Tram) em uma cidade inteligente está associado à emissão zero de combustíveis e à direção autônoma, migrando as tecnologias dos automóveis para o setor elétrico de VLT, aumentando a capacidade da segurança no trânsito (DI PALMA, *et al.* 2020).

Nas cidades inteligentes, os metrôs utilizam, no controle do tráfego de passageiros, novos algoritmos de previsão de demanda para a definição do perfil do passageiro fiel, com base nos padrões de mobilidade. Utilizando métricas, como a lealdade, a hora, a localização e o clima, conseguem melhorar a exatidão da previsão da demanda (WANG *et al.*, 2018a). Nas estações do metrô, são combinadas as tecnologias de Internet das Coisas e Computação em Nuvem para criar uma tecnologia digital assistida, de forma que possam ser identificados os objetos perdidos ou deixados pelos usuários, proporcionando maior autonomia para os usuários encontrá-los com maior facilidade (DE OLIVEIRA NETO; KOFUJI, 2016).

Nos modos de transporte massa VLT e trens, houve evoluções para o sistema de bilhetagem, porém, ainda existe a evasão de tarifas. Uma solução, nesse caso, é a Radio Frequency Identification (RFID) à distância, que traz benefícios ao controle das tags em substituição da inspeção manual de bilhetes (KHOEBLAL *et al.*, 2015).

Já os smartphones e aplicativos têm o papel importante de integrar todas as informações de diferentes modalidades de transporte para os usuários. Wang *et al.* (2018b) aplicam a detecção dos modos de transporte com sensores de baixo consumo de energia, usando redes neurais recorrentes com base em learning Machine, superando o sistema de Global Positioning System (GPS), reduzindo o uso da energia dos smartphones e o consumo de internet móvel para procurar modos de transporte como carros, ônibus, metrôs e trens. Isso afeta diretamente o gerenciamento do tráfego e o planejamento do transporte urbano. Bucher *et al.* (2019) esclarecem que a mobilidade sustentável é possível a partir de dados de rastreamento de atividades e monitoramento de localização para proporcionar às pessoas um eco-feedback por smartphones sobre seus próprios padrões de mobilidade. Assim, pretende-se estimular as pessoas a adotar mais opções de mobilidade urbana eficiente e sustentável reduzindo a duração percurso, consumo de energia, emissão de dióxido de carbono (CO_2), média do tempo de viagem e meio de transporte.

Um aspecto apontado nesta revisão de literatura é que em algumas pesquisas existem conexões diretas com as cidades inteligentes, enquanto em outras, não. O modelo de transporte de massa para uma cidade inteligente no transporte público, fixa-se em pesquisas de cidades europeias, norte-americanas ou asiáticas, historicamente pelo levantamento do estado-da-arte.

O que se deve notar, no que foi levantado nesta subseção, é que as cidades inteligentes utilizam tecnologias inteligentes e sustentáveis para mitigar riscos de mobilidade urbana. E o que muda para o entendimento do desempenho no transporte público é a alta conectividade dos dados pelas Tecnologias de Informação e Comunicação e a preocupação com os rigorosos protocolos de sustentabilidade para o meio ambiente. Assim, pode-se afirmar que grande parte da literatura busca indicadores para uma possível mobilidade urbana com critérios inteligente e sustentável. As respostas rápidas em tempo real demandadas pelos ambientes urbanos e metropolitanos, visam otimizar os processos para tomada de decisão assertivas essenciais aos usuários do transporte de massa durante os horários de pico do fluxo de passageiros (em que o sistema de transporte exige maior atenção aos processos no percurso).

Para a tecnologias sustentáveis, as fontes de energia de combustíveis renováveis como a gás, etanol, bateria, elétrica, eletrificada ou mesmo células hibridas de combustão de hidrogênio/ bateria, passam a serem prioritárias para diminuição da

poluição atmosférica e sonora, gerando níveis de sustentabilidade ao meio ambiente.

A partir deste ponto desta tese, passamos a considerar o transporte de massa (ou público) um transporte inteligente e sustentável, de acordo como as definições das publicações datadas no início dos séculos XX e XXI utilizadas nesta revisão da literatura. Ele é, portanto, caracterizado pelo uso de tecnologias que se diferenciam por processos de digitalização e do uso de energias renováveis.

1.1.4.5 Síntese do referencial teórico resumido

Nesta subseção apresentamos e propomos as quatro dimensões da evolução do transporte de massa que se estruturam em:

- Dimensão 1 - criação dos modos de transporte de massa.
- Dimensão 2 - comunicação com o usuário no transporte de massa.
- Dimensão 3 - governança no transporte de massa.
- Dimensão 4 – fonte de energia e sustentabilidade no transporte de massa.

As dimensões para o transporte de massa remetem aos achados pelos métodos de pesquisa bibliográfica, pesquisa documental e revisão da literatura nas subseções anteriores. É importante ressaltar que o conceito de dimensão, está na extensão do que é mensurável (em todos os sentidos) e, dessa forma, traz a reflexão do que determina a porção de espaço ocupada por um corpo (tamanho, proporção) ou um problema dado a complexidade temporal (OXFORD *LEARNER´S DICTIONARIES*, 2022). Assim, as quatro dimensões do transporte de massa nos séculos XIX, XX e início do século XXI pesquisadas trazem esse corpo, tamanho e proporção para a evolução do transporte de massa.

Dessa forma, a evolução do transporte de massa ocorreu através dessas dimensões após levantamento da fundamentação teórica resumida. Lembrando que o sistema de transporte urbano de passageiros é parte da preocupação do planejamento urbano, que se tornou um sistema vital para que a cidade inteligente consiga oferecer seus serviços de locomoção atualizados ao usuário gerando melhor desempenho para a mobilidade urbana.

A Figura 1, a seguir, ilustra a estrutura da evolução do transporte de massa e suas quatro dimensões proposta neste trabalho.

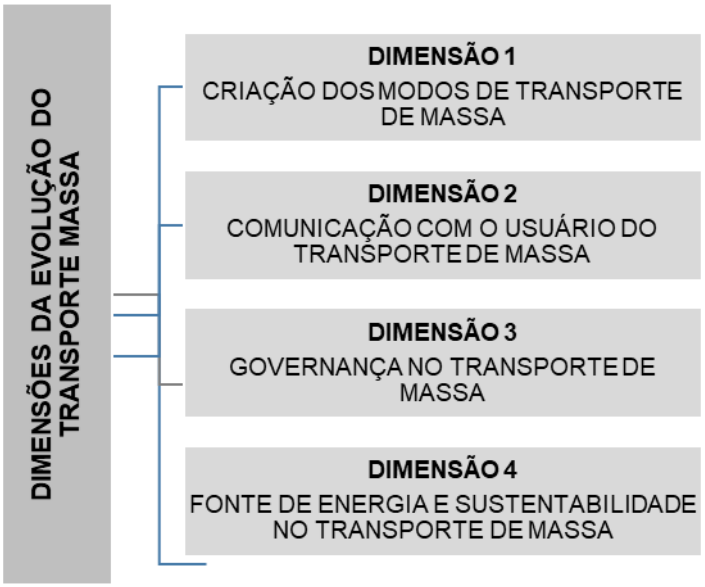


Figura 1 - Dimensões da evolução do transporte de massa.
Fonte: O autor

Dimensão 1 - Criação dos modos de transporte de massa

Do ponto de vista da dimensão **criação dos modos de transporte de massa**, os bondes e ônibus, nos séculos XIX, XX e início de XXI, foram relevantes para a configuração do transporte de massa a partir da evolução dos sistemas energéticos de tração animal ao diesel e com as fontes de energia alternativas (a gás, bateria, elétrica ou de célula de hidrogênio). No final do século XIX, surgem os trólebus e metrôs com maior capacidade do sistema energético e de transporte de passageiros, formando o sistema energético eletrificado em grandes cidades. Os trólebus, entraram em desuso devido à capacidade do seu sistema de operação, tornando-os obsoletos, e foram substituídos pelos ônibus a diesel, entre o início do século XX e meados do século XX. Nos meados do século XX, surgem a transformação do conceito de bondes para sistema de VLT, cuja estrutura metroferroviária é menor em tamanho e velocidade (para os chamados VLTs de superfície), se comparados ao metrô. Atualmente os ônibus, VLTs e metrôs são a formação mais comum de um sistema de transporte de massa dentro do transporte público em uma grande cidade.

Dimensão 2 – comunicação com o usuário do transporte de massa

Do ponto de vista da dimensão **comunicação com o usuário do transporte de massa**, ao longo dos meados do século XX ela foi alterada, de uma comunicação

manual e presencial entre os motoristas e maquinistas , usando máquinas mecânicas sem interatividade de sistemas, para o *Intelligent Transportation Systems*, que operavam o monitoramento do sistema de transporte por redes de computadores e satélites conectados às centrais de operação das operadoras de transporte. Até o final da década de 1990 e início de 2000, a Internet e a globalização ainda estavam em um processao transitório para a virtualização em diversos países do mundo, se comparado à expansão da capacidade dos tempos atuais. No final do século XX e início do século XXI começam as operações de planejamento e monitoramento dos sistemas de transporte de massa em conjunto com tecnologias Terceira e Quarta Revolução Industrial. Os ITSs passam a transferir suas operações computadorizadas e armazenadas em centros de operações de transporte urbano para o processo de virtualização e hiperconexão controlados pelas empresas de Tecnologia de Informação e Comunicação (TICs).

Dimensão 3 – governança no transporte de massa

Do ponto de vista da **governança no transporte de massa** no século XIX, a tomada de decisão para criação e implantação dos modos de transporte de massa bondes, ônibus e metrôs estava apenas vinculada aos gestores municipais e às grandes corporações locais que financiavam as pesquisas. Muitas vezes, tem-se as mesmas pessoas e/ou empresas desempenhando os papéis de empreendedores e proprietários industriais das construtoras e montadoras desses modos de transporte — como foi o caso de John Stephenson (1983), empreendedor do bonde; Stanislas Baudry (1826), empreendedor do ônibus; da *Metropolitan Railway* em Londres (1863), o metrô a vapor e pneumático; e a *City & South London Railway* (1890), idealizadora do metrô com trilhos eletrificados. Por um lado, isso facilitava o poder decisório de aplicação e massificação desses modos de transporte no sistema de transporte público, de maneira que a tomada de decisão ficava concentrada entre gestores municipais e as grandes corporações, e o cidadão que utilizava o transporte público tinha pouca ou nenhuma representatividade e influência na tomada de decisão e na gestão do transorte público. Por outro lado, ainda havia a lacuna de um histórico de viagens e de pesquisa acadêmicas que contribuissem para o entendimento das necessidades do viajante no transporte público e dos atributos que lhe gerassem maiores benefícios e, consequentemente, equilibrio decisório entre gestores

municipais, grandes corporações, inventores e cidadão para o planejamento do transporte público.

Muda-se o foco com o início do século XX com a primeira e a segunda guerra mundial e, com isso, o impacto das novas tecnologias produzidas por ela, sobretudo, das grandes corporações multinacionais e transnacionais de fabricação de ônibus e metrôs expandem-se seu grau de influência na tomada de decisão da governança do transporte de massa junto dos governantes locais.

Em meados e no fim século XX, o planejamento urbano, juntamente com a mobilidade urbana e o sistema de transporte de massa, começam a receber influências das empresas de eletrônica para implantação dos ITSs, de motores a combustão para ônibus e de eletrificados para os sistemas metroferroviários. Essa governança no transporte de massa é compartilhada entre os agentes que formam a estrutura do transporte de massa — que são compreendidos como o governo municipal—, as empresas prestadoras de serviços — em muitos casos, empresas de tecnologia—, as operadores de transporte e o cidadão.

Porém, discute-se, na literatura, o papel da governança compartilhada entre cidadão e gestores públicos no planejamento urbano, incluindo o transporte público. A tomada dos interesses da cidade deveria ter a neutralidade entre os agentes, proporcionando o bem-estar e a qualidade de vida de todos, de uma forma menos desequilibrada ao interesse particular das corporações de tecnologia. No final do século XX e início do século XXI, são criados modelos de compartilhamento de tomada de decisão entre o cidadão e o governante, buscando maior grau de neutralidade em relação aos interesses das empresas de tecnologia, em especial, às empresas que implantam tecnologias da Terceira e Quarta Revolução Industrial com o intuito de facilitar a relação do usuário com a cidade inteligente e com a comunicação através das TICs.

Uma crítica muito presente como plano de fundo no cenário do século XXI sobre “tecnologias, cidades inteligentes e cidadãos” para alguns autores pode ser perversa, com um fluxo sequenciado de interesse de emancipação tecnológica do cidadão, depois escravização tecnológica do cidadão pela dependência dessas tecnologias. Segundo Bria e Morozov (2020), o processo de escravização tecnológica, acontece quando o indivíduo, após exposição contínua pela interação com tecnologias na cidade inteligente, passa a ser dependente dela, a ponto de reduzir ou perder sua liberdade e autonomia de escolha dessas tecnologias ou processos que lhe

beneficiam de uma forma plena como cidadão. Sem opções as novas estratégias e processos, que não seja o tecnológico, o indivíduo passa a ser escravo de tecnologias impostas por outros agentes. O transporte de massa em cidades inteligentes pode ser incluído nessa discussão, considerando decisões tomadas apenas pelos gestores municipais, operadores de transporte e empresa de tecnologias.

Em outro extremo, os autores descrevem a emancipação tecnológica, caracterizada pelo uso independente e autonômo de cada cidadão das tecnologias da cidade inteligente, sem interferência do Estado. A neutralidade tecnológica é caracterizada pelo equilíbrio na tomada de decisão, no planejamento e no uso das tecnologias na cidade inteligente, sem o interesse ou favorecimento a um único agente da cidade inteligente, de forma abritária de outros agentes como cidadãos. É o princípio de que o Estado não deve impor preferências a favor ou contra tipos específicos de tecnologia (ISO 37122; BRIA, MOROZO, 2020).

Portanto, os agentes da cidade inteligente necessitam buscar mecanismos equânimes para manter a neutalidade tecnológica entre os agentes de uma cidade inteligente. Dessa forma, o transporte público e o uso de tecnologias deve se preocupar também com a essa perspetctiva do usuário (cidadão) que seria o agente com menos poder em reivindicar melhorias no transporte de massa.

Em numa visão futurista e ideal, o planejamento urbano de uma cidade perfeita é feito em ambientes monitorados e padronizados que resolvam desafios e limitações locais da cidade inteligente.

Dimensão 4 – fonte de energia e sustentabilidade no transporte de massa

Do ponto de vista da **fonte de energia sustentabilidade no transporte de massa,** as fontes de energia são determinantes para a qualidade do ar. Nesse quesito, acontece uma mudança a partir do final do século XX e início do século XXI, com a preocupação do planejamento urbano em reestruturar as cidades como inteligentes como um modelo de uso de tecnologias sustentáveis para diminuir o impacto da poluição atmosférica e sonora ao cidadão com fontes de energia alternativas e renováveis no transporte público.

Para as tecnologias ligadas à sustentabilidade, são resgatadas as soluções propostas de fontes de energia do século XIX — como a gás, a bateria, elétrica —, com novas propostas de inovações e atualizações tecnológicas aos modos de

transporte de massa. O propósito do uso do eixo tecnologia-sustentabilidade vai além da concentração da tomada de decisão entre as empresas tecnologias e as ações dos governantes locais. Ele busca da neutralidade entre os interesses do cidadão, governo e iniciativa privada, considerando o sistema de transporte de massa de cada cidade como um sistema único, complexo e sistêmico que precisa de uma avaliação especifica daquela comunidade, não buscando apenas o solucionismo tecnológico. Portanto, tecnologia e sustentabilidade se tornam complementares e intrínsecas em sua funcionalidade e uso pelo cidadão na cidade inteligente.

Uma perspectiva fundamental vista ao longo da literatura do referencial teórico resumido é que é possível perceber que, para cada surgimento de uma nova tecnologia para o transporte de massa, seja ela ligada a melhoria do transporte de passageiros, comunicação dos passageiros e para os sistemas energéticos, havia sempre essa evolução após uma grande revolução industrial, sendo ela, posterior ou transitória à primeira, segunda, Terceira e Quarta Revoluções Industriais.

Percebe-se que no século XIX existia uma forte tendência á mecanização com energia a vapor nos modos de transporte de massa. No início do século XX e meados do século XX, existia a predominância de processo de eletrificação com urbanização aos modos de transporte de massa. Em meados do século XX e início do século XXI, os modos de transporte de transporte passaram a serem vistos, não de maneira única como frotas de veículos por operadoras de transporte, mas como um sistema de transporte em que as tecnologias eletrônicas e de energias não renováveis como o combustível fóssil começam a se destacar pelo uso dos governos no transporte público e no planejamento urbano para suprir demandas da mobilidade urbana.

Após a apresentação do referencial teórico e das quatro dimensões dos modos de transporte de massa e seus sistemas de tecnologias digitais e de fontes de energias alternativas e renováveis, passaremos à seção de Metodologia Resumida, que descreverá a metodologia utilizada para a composição desta tese e dos Artigos 1, 2 e 3, que a compõem.

1.1.5 Metodologia Resumida

Neste estudo, realizou-se uma pesquisa exploratória/descritiva, tendo como objeto de estudo a evolução dos modos de transporte urbano de massa e suas

tecnologias ao longo do tempo. Foi realizada uma pesquisa documental para compreender o cenário das tecnologias inteligentes e sustentáveis embarcadas em ônibus, metrôs, VLTs.

As tecnologias inteligentes e sustentáveis vêm sendo aplicadas no transporte de massa principalmente entre meados do século XX, final do século XX e início do século XXI, tendo ainda um número limitado de publicações em que as várias tecnologias e fontes de energia são consolidadas. Os dados socioeconômicos e econômicos coletados contribuíram para o entendimento de que as tecnologias inteligentes e sustentáveis são necessárias para melhorar a aplicação e o desempenho do modelo dos indicadores propostos, sendo eles requisitos para classificar o transporte de massa nas cidades inteligentes em prol do acesso democrático e universal ao transporte público pelos cidadãos, trazendo uma análise crítica ao estudo.

É possível verificar que os dados socioeconômicos econômicos coletados influenciaram no estudo sobre a perspectiva de o ser humano estar em áreas vulneráveis pela falta de efetividade da gestão pública no transporte de massa a quem necessita. Para a conexão de ideias discutidas nas seções de síntese do referencial teórico e a proposição das dimensões da evolução do transporte de massa, a metodologia no presente estudo que foi dividida em três etapas:

- Pesquisa documental: fez-se um levantamento dos dados bibliográficos e documentais, utilizando-se de dados secundários extraídos de sites especializados, de sites de prefeituras, secretarias de transporte público ou de mobilidade urbana, a fim de coletar dados dos modos de transporte de massa (transporte público), suas fontes de energia e as tecnologias utilizadas, levando em consideração sua composição e concentração nas cidades analisadas. Nessa primeira etapa, objetivou-se coletar dados para entender a distribuição dos sistemas de transporte de massa nessas cidades, identificando como estão estruturadas e seus atores envolvidos (governos e empresas consorciadas de transporte público). Essa parte do trabalho foi responsável pelo fornecimento dos dados secundários utilizados nas análises quantitativas e quantitativas dos artigos.

- Pesquisa bibliográfica: foram feitas pesquisas sobre o tema em fontes acadêmicas como livros e artigos científicos, utilizando as bases de dados disponíveis (por exemplo, IEEE Xplorer, Sicence Direct, DOAJ e Scielo).

- Resultados e Discussões: foram aplicados os dados coletados, tanto bibliográficos/documentais quanto numéricos, para a produção de artigos cujas metodologias estão descritas a seguir. Resumidamente, os artigos são de cunho bibliográfico para entendimento dos períodos ou fases em se podem classificar os sistemas de transporte públicos de massa e que em fase estamos atualmente, considerando as características desses transportes.

No primeiro artigo, utiliza-se do método de análise de redes sociais os sistemas de transporte de massa associado à análise dos desempenhos, correlações entre variáveis e possíveis cidades inteligentes *outliers*. No segundo, existe o tratamento de uma análise textual relacionado à revisão da literatura coletada para os atuais anos do século XXI. No terceiro, utiliza-se o estudo de caso múltiplo com a técnica de triangulação de três bases de dados.

1.1.5.1 Métodos Utilizados nos Artigos

Artigo 1

O primeiro artigo teve como objetos de pesquisa os modos de transporte coletivo, tecnologias inteligentes de transporte e fontes de energia em cidades inteligentes com população urbana até 500.000.00 habitantes. O objetivo foi analisar as redes de transporte urbano de massa, suas tecnologias, suas fontes de energia e a influência dos dados econômicos.

Os dados foram coletados em websites dos governos oficiais e empresas consorciadas de dezesseis cidades iberoamericanas. Foi verificada a distribuição da rede, aplicando o método quantitativo de redes de empresas chamado de *Social Analysis Network* (SNA), utilizando os softwares Ucinet 6.7® e Netdraw.

Os resultados descrevem o uso simultâneo de Sistemas Inteligentes de Transporte com fontes de energia de combustível fóssil. Foram identificadas fontes de energias eletrificadas, assim como, a influência dos dados econômicos no sistema de transporte público.

Artigo 2

O segundo artigo analisou os objetos de pesquisa: modos de transporte coletivo em cidades inteligentes e as tecnologias aplicadas atualmente.

Realizou-se uma revisão da literatura coletada em bases acadêmicas de consulta (IEEE Xplorer e Science Direct). Aplicou-se a análise textual mecanizada por meio do software Iramuteq 4.0.3 na amostra das publicações coletadas dos últimos onze anos.

Os resultados alcançados mostram que as tecnologias inteligentes melhoram o desempenho autônomo dos ônibus elétricos. Essas tecnologias capturam os dados de veículos e usuários para processamento de informações e tomada de decisão para a criação de serviços inteligentes no transporte público. As tecnologias sustentáveis utilizam dos ônibus movidos a bateria em redes de carregamento inteligente dentro da cidade inteligente. Outras alternativas, como células de combustíveis e a combinação de combustíveis híbridos são mencionadas e recomendadas para redução do CO_2.

O transporte eletrificado, como bondes e metrô, tem uma aplicabilidade sistêmica e de alta conectividade entre suas tecnologias e vias, estações, veículos e sistemas de informação inteligentes, e fontes de energia recarregáveis. Essa concentração de tecnologias inteligentes e menos poluentes caracterizam o sistema de transporte urbano de massa entre o período de 2009 a 2020 nas cidades inteligentes.

Artigo 3

O terceiro artigo teve como objetos de pesquisa: modos de transporte urbanos de massa, tecnologias inteligentes e fontes de energia em cidades inteligentes com população urbana até 2.000.000 de habitantes, e metropolitana de até 6.000.000 habitantes.

Realizou-se o levantamento das informações sobre o transporte urbano de massa de quatro cidades para construção das três bases de dados em websites das prefeituras, secretarias de economia, transporte e mobilidade, turismo e infraestrutura, e das empresas consorciadas em transporte público das quatro cidades pesquisadas, tendo sido os dados, portanto, coletados de formas diferentes para a triangulação da pesquisa.

Após a formação das bases de dados consolidadas, foi desenvolvido um estudo de caso múltiplo. Os dados coletados na primeira base de dados trazem as

informações econômicas, socioeconômicas, *ranking* das cidades inteligentes e a composição dos sistemas de transporte urbano de massa das quatro cidades. Na segunda base de dados, compila-se e descreve-se a concentração dos modos de transporte público de massa, tecnologias e fontes de energia. Da terceira base de dados, extraem-se as evidências para a proposta de classificação de classificação do sistema de transporte urbano de massa inteligente e sustentável em cidades inteligentes.

Os resultados descrevem que esses sistemas de transporte urbano de massa metropolitanos são construídos por acúmulo de tecnologias ao longo do tempo, e são implantados nas cidades inteligentes de acordo com as necessidades da mobilidade urbana local, e podem ser classificados em suas quantidades como mais ou menos diverso, mais ou menos tecnológicos e mais ou menos limpos ou poluentes.

Resultados e Discussão

O quarto objetivo específico do estudo é respondido na seção Resultados e Discussão, onde se analisa o transporte de massa por suas tecnologias e suas fontes de energia nos períodos próximos à revolução industrial, e proposto um modelo de classificação de transporte público para cidades inteligentes baseado em tecnologias de transporte e sustentabilidade através de indicadores inteligentes e sustentáveis no transporte massa.

O método utilizado é o qualitativo e quantitativo, apoiado por pesquisa documental, pesquisa bibliográfica, revisão de literatura, técnica triangulação de dados e estudos de casos múltiplos (qualitativos) e utiliza-se o método de redes de empresas — Social Network Analisys (SNA) — e análise textual— Linguagem R e Iramuteq (quantitativos).

O resultado do modelo descreve que as tecnologias inteligentes caminham para informações mais equânimes ao usuário do transporte de massa. As tecnologias sustentáveis, os combustíveis, podem ser mais ou menos poluentes dentro da evolução dos períodos históricos levantados. É proposto o agrupamento dessas tecnologias, em que se configuram os indicadores inteligentes e sustentáveis para o transporte de massa em cidades inteligentes.

1.1.6 Composição da Tese

A presente tese está, portanto, organizada em formato de itens e subitens cuja estrutura pode ser ilustrada conforme a Figura 2.

Figura 2 - Estrutura de organização da tese

Fonte: O autor

CAPÍTULO II

2.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta os resultados no formato de três artigos que compõem a tese. Cada pesquisa explorada nesses artigos contribuiu para a proposta de um modelo de classificação de transporte público para cidades inteligentes baseado em tecnologias em tecnologias de transporte e sustentabilidade, apresentado nas subseções 2.1.1, 2.1.2 e 2.1.3. Posteriormente, nas subseções 2.1.4, serão discriminados os principais achados desses artigos.

Artigo 1

2.1.1 The impact of technological, economic and socioeconomic factors on the sustainability of public transportation in smart cities

O primeiro artigo foi submetido no periódico internacional “American Academic Scientific Research Journal for Engineering, Technology and Science”, tendo a submissão no ISSN (Print) 2313-4410, ISSN (Online) 2313-4402 (https://asrjetsjournal.org/index.php/American_Scientific_Journal), e segue a formatação desse periódico.

The impact of technological, economic and socioeconomic factors on the sustainability of public transportation in smart cities

Luiz Rodrigo Bonette [a]*, Márcia Terra da Silva [b]

[a]*Universidade Paulista, São Paulo, Brazil*

[b] *Universidade Paulista, São Paulo, Brazil*

[a]*Email: luiz.bonette@aluno.unip.br*

[b]*Email: marcia.silva@docente.unip.br*

Abstract

Smart cities have changed the way of analyzing the structure and infrastructure of urban mobility areas, and because of this, smart and sustainable technologies already embedded in public transportation have become even more essential for city halls, transportation companies and passengers. This study has as objective to analyze mass public transportation networks behavior, focusing on their technologies and their fuel energy sources. In another step, this research investigates the influence of technological, economic, and socioeconomic data on urban mass transport systems. To do this, we collected and analyzed data from sixteen Ibero-American smart cities using Ucinet 6.7 ® and Netdraw ® software. After that we graphically analyzed the data using correlation, performance, and outliers' techniques. The results of simulated networks describe the simultaneous use of Intelligent Transportation Systems (ITS) with fossil fuel energy sources, predominantly the use of diesel in public transportation in these smart cities. The total use of ITSs with renewable energy sources as the electrification of mass transport modes is identified in Spanish, Portuguese smart cities, and in the South American Brazilian smart city of Santos. For most South American smart cities, however, the use of ITS is partial, and diesel is the only one non-renewable energy source. The results of the graphical analyzes suggest that technologies, public budget, population density and Human Development Index (HDI) impact the configuration of these mass transport systems with positive and negative aspects influencing the planning of the mass transport system in the long run.

Keywords: Smart Cities; Public Transportation; Technologies; Sustainable.

---

* Corresponding author.

1. Introduction

Smart cities and smart technologies are developed with the objective of accompanying the urban challenge, giving rise to the concept of smart mobility [1]. The concept of smart mobility moves towards a harmonious and sustainable society, seeking to improve the transport services offered to people [2].

Smart mobility encompasses four dimensions: vehicle technology, Intelligent Transportation Systems (ITS), data and information, and new mobility services [3].

Traditionally, mass transit modes can be classified as buses, subways, trams, trolleybus, urban and suburban trains, or semi-public, such as van or minibus [4]. Some authors add more modes of mass transit transportation, such as Bus Rapid Transit (BRT) and urban and metropolitan intermodality [5] [6] [7]. These modes of mass transit transportation use technologies in public transport [4] [6] associated with Intelligent Transportation Systems (ITS) [8] in order to operate the communication and control of information between consortium companies and passengers.

Currently, these mass public and urban transportation modes have been modified with the use of new smart technologies and sustainable technologies with renewable or less polluting energy sources, such as Battery Electric Buses (BEBs) [9], E-Buses [10], Bioethanol buses [11], Smart Tramways [12] and Subway using Big Data and Artificial Intelligence [13] that aim to insert smart or sustainable technologies in urban mobility.

This study analyzes the behavior of mass public transport networks in smart cities through their technological trends and the use of renewable and non-renewable fuels. It also investigates the impact of technologies, economic and socioeconomic data on the performance of urban transport systems. To achieve this objective, the Social Network Analysis (SNA) methodology was applied to the database of transportation modes and technologies used in the sixteen smart cities analyzed in their networks. The graphic analysis consolidates the research by answering what is the impact of technological, economic, and socioeconomic factors on the sustainability of public transport in smart cities.

2. Public transport, technologies, and renewable energy sources in smart cities

Evaluating the public transportation system for its economic and operational characteristics provides information about its performance and policy recommendations for the diffusion of Intelligent Transportation Systems (ITS) [14]. The rise and progress of the transport industry means that travel efficiency has been enhanced in public transport to promote the development of communication meeting the needs of passengers based on the information interaction characteristics explored in smart urban public transportation [15]. One of the main characteristics of smart cities is public transportation, which must have an intelligent public transport system that reduces the lack of information between the transport system and its users. With the introduction of technology in the intelligent public transport system, passengers are constantly updated with transport data, which facilitates their mobility [16]. The relation between smart cities and public transport has been widely discussed and applied, as the role of public transport as dynamic multi-agent systems based on different data sources and different technologies in smart cities can improve the understanding of public transport demand and the offer that the public transport operator provides to its citizens [17].

Designing public bus transportation policies that are both environmentally sustainable and economically viable allows the involvement of key stakeholders in the process to reflect various priorities and

preferences in the use of renewable energy. The deployment of fossil-free fuel to classify CO_2 emissions from the lowest to the highest — such as Electricity, Hydrogenated Vegetable Oil (HVO), Biogas, Ethanol, and Biodiesel —for public transport buses nationwide is one of the renewable energy policies that can be used in public transport as a set of standards and criteria for evaluating and intervening for public transport sustainability [18]. Increasing levels of pollution and traffic jams in large cities are becoming sensitive issues that could be alleviated by public transport systems with different types of electric mass transport vehicles being more efficient (battery electric buses, trolleybuses, trams, metro, metro) as their implementation would enable large reductions of CO2 emissions [19].

3. Simultaneous use and public transportation transition technologies

The ITSs generated several types of programs, being updated for highways, roads, and transportation. Its first phase covers from 1970 to 1980, the second phase encompasses from 1981 to 1994, and its third phase covers from 1994 to 2012 [20]. ITS provided an improvement in the transportation system focusing on major congestion, safety, and the environment [21]. The application of ITS in public transportation has the objectives of increasing travel control, determining service quality and flexibility, helping the tariff integration system, improving the information and security system for the user and facilitating access to the multimodality of the modes of transportation [8]. For the operationalization of the urban transportation system, there is a set of fourteen technologies used in urban public transport, such as mechanical passenger recorder, radio communicator, collective identifier, record of collective passage, driver and vehicle behavior recorder, travel recorder, communicator with users, vigilant of places routes, interior of collectives payment receipt, electronic record of shipments and arrivals, automatic ticket collector with magnetic ticket, automatic charger with smart card, satellite collectives tracker and traffic light trigger [4] [6].Currently, there are smart and sustainable technologies for the transition from the diesel model to other models of alternative and renewable energy sources. For E-Buses there is a transition to electrification [22]; for BEBs, a transition for energy efficiency between diesel, hybrid, electric and fuel cell [23]; for tramways, smart grid and new sources are applied [24]. Finally, for subways, Regenerative Breaking Energy (RBE) is used [25].

4. Methodology

To analyze the behavior of urban transport networks and their actors through the Ucinet® 6.7 tool with the Netdraw® module, the Social Network Analysis (SNA) method was applied [26] [27]. Within a network, an actor has strategic importance due to his centrality function among his connections [28]. The main actors of a transport network are identified in its formation by connections by the SNA method [29]. There were collected characteristics of smart cities between 200,000 and 500,000 inhabitants, where intelligent technologies of simultaneous use or transition with fossil energy fuels or alternative energy sources were analyzed. Technological trends in public transport networks were analyzed in two sets of data: eight mass transportation modes and fourteen intelligent transport technologies. The following steps were performed:

1. Collection of data on transport modes, technologies, socioeconomic and economic aspects informed

in the portals of the city halls of the sixteen selected smart cities to present them following these:

- Smart city in initials “SC”;
- Smart urban transport technologies in initials “TEC” of Technologies;
- Mass transit mode in initials “MT” of Mode in Transport.

Table 1: Decoding of database.

Decoding Cities	**Smart City**	**SC**
	VALLADOLID	1
	BILBAO	2
	CORDOVA	3
	MURCIA	4
	SINTRA	5
	VILA_NOVA_DE_GAIA	6
	PORTO	7
	CASCAIS	8
	SANTOS	9
	MARINGA	10
	ANAPOLIS	11
	PETROLINA	12
	SALTA	13
	SANTA_FE	14
	CORRIENTES	15
	BAHIA_BLANCA	16
Decoding Technologies	**Smart Urban Transport Technologies**	**TEC**
	MPR (mechanical passenger recorder)	1
	RC (radio communicator)	2
	CI (collective identifier)	3
	ROCP (record of collective passage)	4
	DAVBR (driver and vehicle behavior recorder)	5
	TR (travel recorder)	6
	CWU (communicator with users)	7
	VOPRAIOC (vigilant of places routes and interior of collectives)	8
	IOPR (interior of collectives payment receipt)	9
	EROSAA (electronic record of shipments and arrivals)	10
	ATCWMT (automatic ticket collector with magnetic ticket)	11
	ACWSC (automatic charger with smart card)	12
	SCT (satellite collectives tracker)	13
	TLT (traffic light trigger)	14
Decoding Mode of Transport	**Mass Transit mode**	**MT**
	DIESEL_BUS	1
	TRAMS	2
	METRO	3
	TRAIN	4
	ELETRIC_BUS	5
	GAS_BUS	6
	TROLLEYBUS	7
	MICROBUS	8

Source: Authors (2021).

2. The treatment of collected data from transport modes and technologies for the construction of

matrices using Microsoft Excel 365 spreadsheets is observed in Figures 1 and 2.

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	MT1	MT2	MT3	MT4	MT5	MT6	MT7	MT8
SC1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
SC2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
SC3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
SC4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
SC5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0
SC6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
SC7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
SC8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
SC9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
SC10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0
SC11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
SC12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
SC13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
SC14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
SC15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0
SC16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
MT1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MT2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MT3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MT4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MT5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MT6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MT7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MT8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figure 1: Coded matrix for SNA simulation of smart cities with mass transport modes.

Source: Authors (2021).

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	TEC1	TEC2	TEC3	TEC4	TEC5	TEC6	TEC7	TEC8	TEC9	TEC10	TEC11	TEC12	TEC13	TEC14
SC1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1		1	1	1	0	1
SC2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1
SC3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1
SC4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1
SC5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SC6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1
SC7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1
SC8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1
SC9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SC10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SC11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SC12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SC13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SC14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SC15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SC16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TEC1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TEC2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TEC3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TEC4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TEC5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TEC6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TEC7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TEC8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TEC9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TEC10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TEC11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TEC12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TEC13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TEC14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figure 2: Coded matrix for SNA simulation of smart cities with smart urban transport technologies.

Source: Authors (2021).

1. Simulation of networks by Centrality Degree that represents the number of actors to which one actor is directly linked, divided between OutDegree and InDegree. Network density simulation that

represents its high or low connectivity with its actors [26].

So we have for the Centrality formula: $Cg(Vk) = \sum_{j=1}^{n} W\ kj$ (1)

Vk = Network node to be considered;

j = Number of nodes;

Wkj = Number of adjacent nodes;

and,**Wkj** = 1 if there is a link among the nodes vk and vj.

So we have for the Density formula:

[D = RE / RP X 100] *(2)*

D = Density
RE = Relationships Existing
RP = Possible Relationships

2. New tabulation of the electronic spreadsheets of the collected data base to simulate the bubble graphs.

3. Simulation of bubble charts for mapping the database in dimensions, such as modes of transportation, technologies, economic, and socioeconomic.

4. Analysis of bubble charts based on the (1) correlation of variables/dimensions, (2) performance and (3) outliers criteria.

5. Results and Discussion

5.1. Public transport SNA of the sixteen smart cities

Table 2 describes the characteristics of the sixteen smart cities analyzed by the SNA:

Table 2: A database of cities of 200,000 to 500,000 inhabitants.

Cities	Mode	Technologies	Population	Density	(Budget)	HDI
SALTA	1	9	462.051	7.8	750,000	0,830
SANTA_FE	1	9	391.164	6.4	115,500	0,846
CORRIENTES	1	9	346.334	11.3	75,736	0,825
BAHIA_BLANCA	1	9	290.723	131.1	91,798	0,887
SANTOS	3	14	433.311	1.543.8	603,060	0,840
MARINGA	2	11	423.666	868.3	342,000	0,808
ANAPOLIS	1	11	409.731	414.6	309,314	0,737
PETROLINA	1	11	349.145	76.5	180,120	0,702
VALLADOLID	1	14	301.876	1,525.3	377,140	0,978
BILBAO	3	14	345.122	8,356.5	575,411	0,915
CORDOBA	1	14	326.609	260.2	465,430	0,920
MURCIA	3	14	441.003	500.1	455,836	0,863
SINTRA	2	14	381.728	1.184	263,344	0,931
VILA_NOVA_DE_GAIA	2	14	301.496	1,783.4	217,782	0,900
PORTO	3	14	237.591	5,736.1	343,350	0,900
CASCAIS	2	14	210.889	1,742.6	250,700	0,931

Source: Authors (2021).

Figure 3 shows the results of the collective transport modes network in the sixteen smart cities.

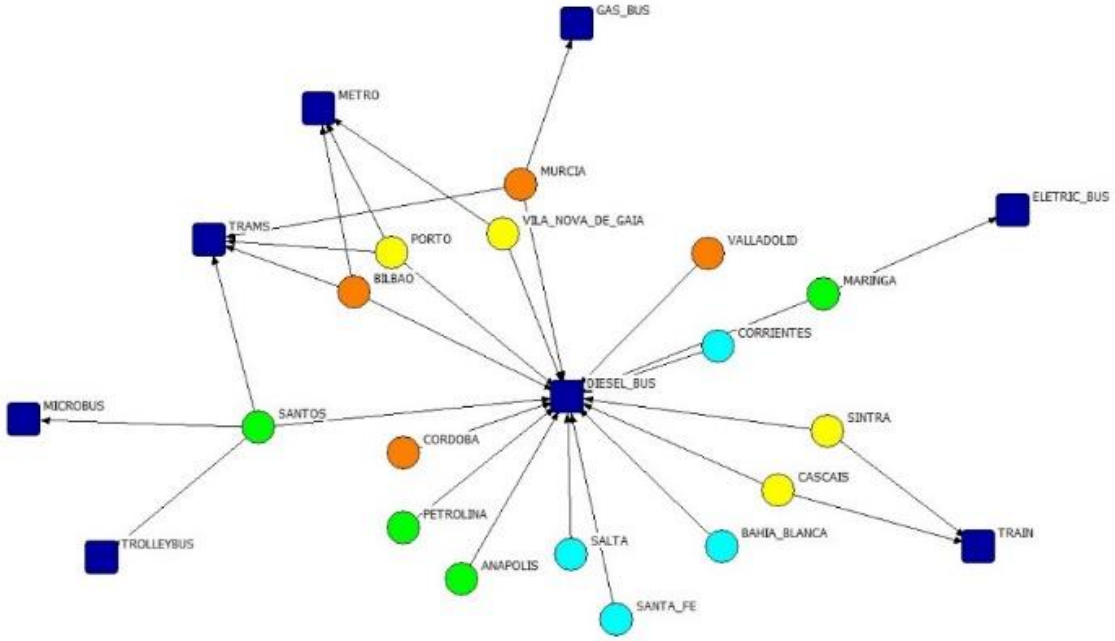


Figure 3: Network of mass transportation modes in the sixteen smart cities

Source: Authors (2021).

Diesel buses are predominantly used in 100% of the sixteen smart cities in this study.

The use of SNA as a methodology shows some trends in smart cities that use third revolution technologies where [20] [21] ITS are used. Fossil energy sources characterize a large part of South American cities, for example, all Argentine cities and two Brazilian cities, Anápolis and Petrolina. The comparison between fossil fuels, such as diesel, and alternative energy sources, such as electrification, is important for economic and environmental factors for buses generating sustainability with a less polluting energy source [30].

The electrified energy source is used in 25% of trams in 4 smart cities, 18.75% of subways in 3 smart cities, 12.50% of trains in 3 smart cities and 6.25 between trolleybuses, electric buses, and buses. gas in 1 smart city each. Maringá uses the technological trend of the electric bus in transition, while Murcia uses the gas bus and tram. Porto and Bilbao use tram and subway, Santos uses tram and trolleybus. Sintra and Cascais use the train. At least 8 of the 16 smart cities use sustainable technological trends for energy sources, namely: Sintra, Vila Nova de Gaia, Porto and Cascais (4 in Portugal), Murcia and Bilbao (2 in Spain) and Santos and Maringá (2 in Brazil))), use technological trends of the fourth industrial revolution or Industry 4.0 [12] [13] with alternative and renewable energy sources [22] [9] [10] to improve the performance of these mass transport systems. Figure 4 shows the results of the network technologies used in public transport in the sixteen smart cities.

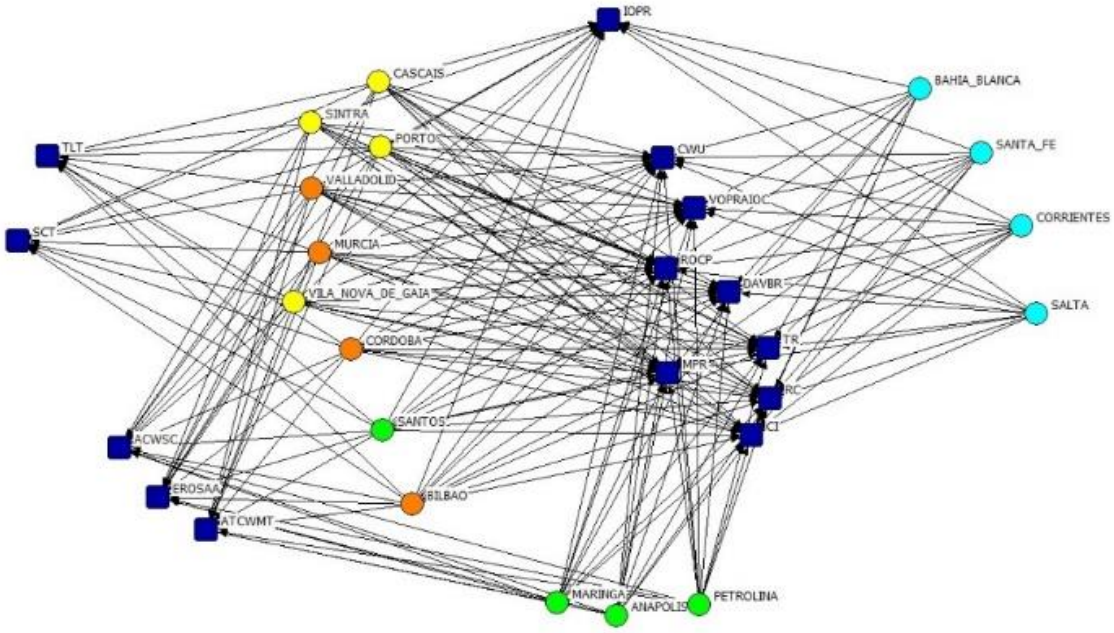


Figure 4: Network technologies used on mass transportation in the sixteen smart cities.

Source: Authors (2021)

Table 3 shows the results of the composition of urban mass transport systems in cities.

Table 3: The composition of urban mass transport systems in cities by outdegree.

SC	City	Outdegree	%Technologies in cities
1	VALLADOLID	14,000	100.00%
2	BILBAO	14,000	100.00%
3	CORDOBA	14,000	100.00%
4	MURCIA	14,000	100.00%
5	SINTRA	14,000	100.00%
6	VILA_NOVA_DE_GAIA	14,000	100.00%
7	PORTO	14,000	100.00%
8	CASCAIS	14,000	100.00%
9	SANTOS	14,000	100.00%
10	MARINGA	11,000	78.57%
11	ANAPOLIS	11,000	78.57%
12	PETROLINA	11,000	78.57%
13	SALTA	9,000	64.28%
14	SANTA_FE	9,000	64.28%
15	CORRIENTES	9,000	64.28%
16	BAHIA_BLANCA	9,000	64.28%

Source: Authors (2021).

The OutDegree index demonstrates the amount of interaction between a city actor and the fourteen technologies used in public transportation (corresponding in this case to 100% of the smart technologies in urban transport analyzed in Figure 5 and Table 3). Valladolid (SPA), Bilbao (SPA), Cordoba (SPA),

Murcia (SPA), Sintra (POR), Vila Nova de Gaia (POR), Porto (POR), Cascais (POR) and Santos (BRA) use 56.25% of the 14 technologies available for public transportation, while the other smart cities use 43.75% between the use of 9 to 11 technologies analyzed. From the 16 smart cities analyzed, 9 of them use 100% of the available technologies for the flow of information between passengers and public transportation companies to improve urban mobility by ITS.

The cities of Maringá (BRA), Anápolis (BRA) and Petrolina (BRA) interact 37.9% of the network with the fourteen evaluated technologies, restricting this universe to Brazilian cities. On the other hand, the cities of Salta (ARG), Santa Fé (ARG), Corrientes (ARG) and Bahia Blanca interact only 31% with the network, considering a lesser use of these public transportation technologies.

The concentration of technologies and electrified energy sources in the European smart cities of Bilbao (SPA), Porto (POR), Vila Nova de Gaia (POR), Cascais (POR), Sintra (POR) and in the smart city of Santos (BRA) shows the importance of planning and investing in the sector, as having a specialized transporter commissions [31] or concentration of wealth in its ports [32] [33] [34] [35] generating robust budgets, which impact on socioeconomic indicators (Table 2). Table 4 shows the results of the technologies networks.

Table 4: The technology networks of urban mass transport of cities by indegree.

TEC	Technologies and Cities	Indegree Smart Cities	NIndeg Technological interaction
1	MPR	16,000	55.20%
2	RC	16,000	55.20%
3	CI	16,000	55.20%
4	ROCP	16,000	55.20%
5	DAVBR	16,000	55.20%
6	TR	16,000	55.20%
7	CWU	16,000	55.20%
8	VOPRAIOC	16,000	55.20%
9	IOPR	13,000	44.80%
10	EROSAA	12,000	41.40%
11	ATCWMT	12,000	41.40%
12	ACWSC	12,000	41.40%
13	SCT	9,000	31.00%
14	TLT	9,000	31.00%

Source: Authors (2021).

Regarding technology networks and their interactions, it is possible to note that technologies, such as, Mechanical Passenger Recorder (MRP), Radio Communicator (RC), Collective Identifier (CI), Record Of Collective Passage (ROCP), Driver And Vehicle Behavior Recorder (DAVBR), Travel Recorder (TR), Communicator With Users (CWU), Vigilant Of Places Routes And Interior Of Collectives (VOPRAIOC) connect to 55.20% of this network in the 16 cities analyzed and are 100% used by the network. On the other hand, the Issuer Of Payment Receipt (IOPR) technology has 44.80% of use in 13 of the analyzed cities. The three technologies Electronic Record of Shipments And Arrivals (EROSAA), Automatic Ticket Collector With Magnetic Ticket (ATCWMT), Automatic Charger With Smart Card (ACWSC), concentrate

41.40% of interactions with the network of 13 cities. The last two connected technologies, Satellite Collectives Tracker (SCT) and Traffic Light Trigger (TLT), correspond to 31% of interaction with the network in the 9 cities. It is possible to assume that some technologies linked to the sharing of more complex information and communication networks are less used, due to the infrastructure cost for the cities and other technologies become more commonly used because they are embedded on the urban mass transportation mode itself.

Regarding the perspective of the degree of centrality of the network by the criterion of entry (out-centralization), its composition is 26.75%, whereas from the perspective of the degree of centrality of exit (in-centralization) it is 33.89% which demonstrate that the network is not centralized.

This section discussed the strategic position of the central actor in each part of the network composition by SNA [28], where Figure 4 demonstrated that diesel technology is dominant, but there are alternative energy sources, like electrified and gas, being implemented and tested in part of the smart cities (Figure 4).

The European smart cities massively use smart urban transport technologies. They use smart and sustainable technologies, made up of different modes of mass transport, generating a greater volume of information for decision-making on smart and sustainable mobility among their actors.

On the other hand, most smart cities in South America use the smallest volume of ITSs and use fossil fuel sources, which are non-renewable, such as diesel. In these South American smart cities, air pollution, noise and congestion rates may occasionally be higher, as they have less supply of smart and sustainable technologies for their users. It has impacts on the smaller volume of public transportation treated information for decision-making on investments that mitigate the pollutants and technological delay factors in public transportation. In a way, it limits decision-making on the smart and sustainable mobility of these actors (governors, consortium companies and passengers), when compared to the configuration of public transport systems in European smart cities and the Brazilian smart city of Santos. In European smart cities and in Santos, there is an opportunity to invest in these technologies for the public and private sector, with the possibility of expanding and modernizing the public transport system in these South American smart cities. Smart cities can be grouped by their technological trends in the use of smart technologies for urban transport (ITS) and renewable or non-renewable fuels used in public transport after the SNA application, such as:

- Smart cities that simultaneously use smaller scale ITSs and fossil fuels as the only alternative (diesel), such as: Salta (ARG), Santa Fé (ARG), Corrientes (ARG), Bahia Blanca (ARG), Anápolis (BRA) and Petrolina (BRA).

- Smart cities that are in transition to the larger scale use of ITSs and 4.0 technologies of alternative fuels, but with the use of diesel still predominant, such as: Valladolid (SPA), Bilbao (SPA), Córdoba (SPA), Murcia (SPA), Sintra (POR), Vila Nova de Gaia (POR), Porto (POR) and Cascais (POR), Santos

(BRA), Maringá (BRA).

Based on Figures 4 and 5, and on Tables 2, 3, and 4, the results analysis in this section discusses:

• Many smart cities are still dependent in fossil fuel because of their fuel (diesel) supply network is structured and consolidated in a consumer and supplier market that has been stablished long ago. Alternative and renewable fuel options can suffer from the limitation of the transportation infrastructure and technology of the smart city. These limitations impair finding specific spaces for electric batteries for electric and hybrid buses refueling. The lack of electric buses fleet consumption planning in a smart city can overload the electric power network infrastructure which leads to a blackout in the smart city. To plan the smart grid network systematically increases the electric power offered capacity to these buses fleets consumption.

• Mass Transit modes, such as tramways and subways demand high transportation infrastructure and technology investment and long-term investment return. It causes low long-time profit for public transportation companies in consortium and affect their budget. Considering tramways and subways, a complete fleet replacement is less focused than the update in vehicles or station technologies, when compared to bus mass transit.

• The diversity of mass transit modes depend on the following factors: high public budget origin investments, high density concentration (inhab./Km²), (USD) budget and, high Human Development Index (HDI). These factors influence decision making in smart cities. The impact of these factors will be considered in the next step of the methodological process of this research with the analysis of the graphics in subsection 5.2.

• The results indicate that mapping the actors of mass transit systems of the sixteen smart cities contribute to the creation of new services to public transportation. These services creation can happen based on the use of forth industrial revolution technologies and of renewable fuel sources which are added to existing technologies, such as Intelligent Transportation Systems (ITS). Thus, there is a Research and Development (R&D) field to be explored, especially in Argentinian and Brazilian smart cities, because there are technological gaps in using smart technologies (forth industrial revolution) and on sustainable technologies (alternative and renewable fuel sources).

• SNA methodology is important to compare mass transit systems in smart cities to verify technological gaps, such as the existence or non-existence of diverse mass transit, and the concentration or dispersion of technologies in each smart city as simulated network actors.

• The use of diesel as a single fossil fuel in mass transit as buses in cities like Valladolid (SPA), Salta (ARG), Santa Fé (ARG), Corrientes (ARG), Bahia Blanca (ARG), Anápolis (BRA), Petrolina (BRA) demonstrates a lack of alternatives in mass transit modes system by SNA network. It limits smart mobility and sustainable mobility.

Table 5 shows the results of the final balances of the SNA methodology

Table 5: Public transport SNA configuration in the sixteen smart cities.

Networks	Related matrix variables	SNA balance	
Network of mass transportation modes in the sixteen smart cities(Figure 4)	Smart Cities and Mass Transport Modes	Out-Centralization	12,67%
		In-Centralization	67,11%
		Density	5,30%
Network technologies used on mass transportation in the sixteen smart cities (Figure 5)	Smart Cities and Mass and Smart Technologies for Urban Transport (ITS)	Out-Centralization	26,75%
		In-Centralization	33,89%
		Density	22,40%

Source: Authors (2021).

Table 5 proves that the network simulated by the SNA of mass transport systems in these smart cities has low connectivity and low interactivity.
The characteristic of the network type between the mass transport modes and energy sources is a decentralized network with a unidirectional direction type.
The network type of intelligent urban transport technologies characteristic is a distributed network with a unidirectional direction type. In the future, more intelligent and sustainable technologies to expand its connectivity and interactivity, and thus generate greater capillarity in public transport networks, may be added.
There is the possibility of greater investment in the diversification of mass transportation modes and greater investment in the implementation of new technologies, such as technologies from the fourth industrial revolution, or Industry 4.0, and Industry 5.0 technologies. It is worthy describing that the urban transport system is an indicator within smart mobility in the smart city that is impacted by other indicators such as the smart economy, smart environment, smart people, smart governance in a complex, systemic and simultaneous way [36].
In this way, public transport system goes through the analysis of its long-term planning and its structure and infrastructure in networks in the smart city. ***5.2. Analysis of Correlations, Performance and Outliers of Public Transport of the Sixteen Smart Cities***

This subsection describes the results of graphic analyzes and discussions of the impacts of technological, economic and socioeconomic factors on public transport in smart cities. Table 6 describes the main variables of the transport systems of the sixteen smart cities, simulating the impact of the Public Budget (USD) as the main dimension of the bubble graph.

Table 6: Cross-database for analyzing the impact of the public budget on the mass transport system.

SC	Cities	Mode	(Budget) USD	Technologies
1	SALTA	1	750.000	9
2	SANTA_FE	1	115.500	9
3	CORRIENTES	1	75.736	9
4	BAHIA_BLANCA	1	91.798.323	9
5	SANTOS	3	603.060.000	14
6	MARINGA	2	342.000.000	11
7	ANAPOLIS	1	309.314.000	11
8	PETROLINA	1	180.120.000	11
9	VALLADOLID	1	377.140.000	14
10	BILBAO	3	575.411.000	14
11	CORDOBA	1	465.430.000	14
12	MURCIA	3	455.836.701	14
13	SINTRA	2	263.344.000	14
14	VILA_NOVA_DE_GAIA	2	217.782.000	14
15	PORTO	3	343.350.000	14
16	CASCAIS	2	250.700.000	14

Source: Authors (2021).

Table 6 shows that Spanish smart cities have high public budgets and technology numbers, Portuguese smart cities have medium public budgets and technology numbers, and South American smart cities, Argentina and Brazil, have medium or low public budgets and medium technologies numbers. The smart city of Santos has standards of analysis of the public budget and its technologies similar to the European smart cities.

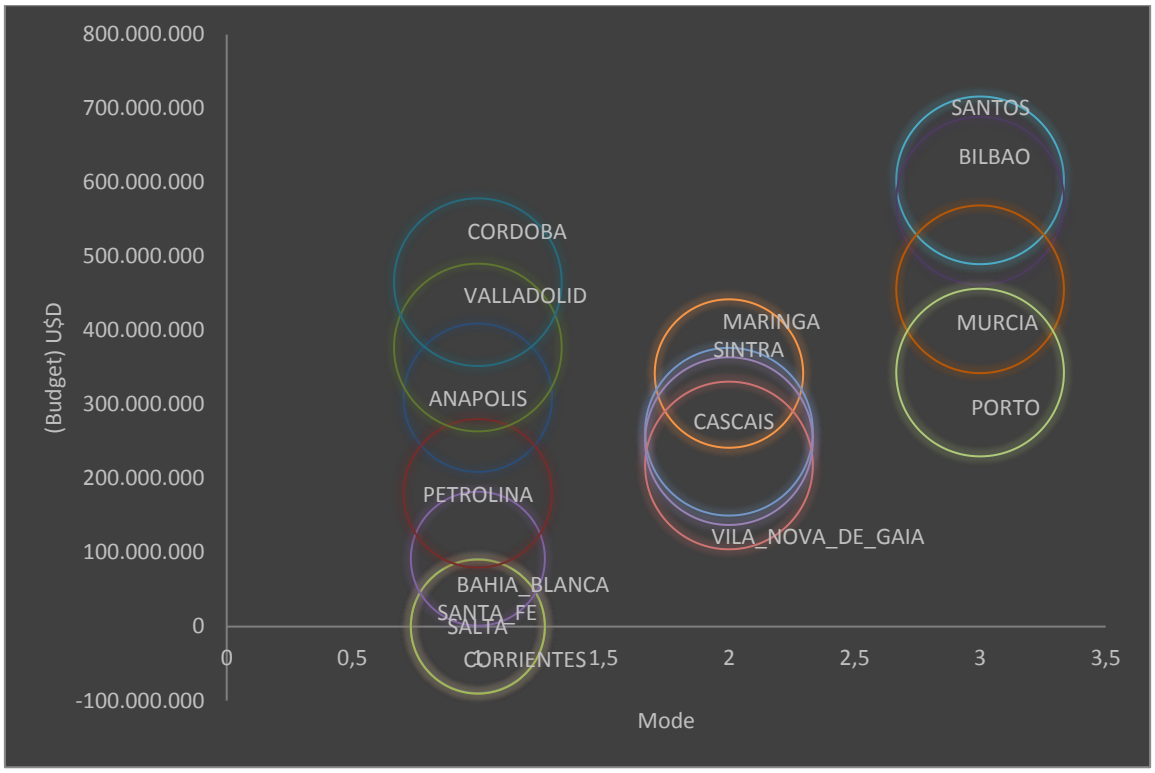


Figure 5: Analyzing the impact of the public budget on the mass transport system.

Source: Authors (2021).

Figure 5 demonstrates that there is an average correlation between public budget data and mass transportation modes. The performance of smart cities Córdoba (SPA), Valladolid (SPA) and Anapólis (BRA) demonstrate that the greater the public budget, the smaller the number of mass transport modes in options. For smart cities like Santos (BRA), Bilbao (SPA), Murcia (SPA) and Porto (POR), the public budget follows the growth of mass transport modes as options. In this graphical analysis no outliers were identified.

The results of the performance of transport and economic data are inversely proportional in two Spanish smart cities, Córdoba (SPA) and Valladolid (SPA), and in two Brazilian cities, Anápolis (BRA) and Petrolina (BRA). The results of transport and economic data performance are proportional in two Brazilian smart cities, Maringá (BRA) and Santos (BRA), and three Portuguese smart cities: Sintra (POR), Cascais (POR), Vila Nova de Gaia (POR) and Murcia (SPA).Table 7 describes the main variables of the transport systems of the sixteen smart cities, simulating the impact of the Human Development Index (HDI) as the main dimension of the bubble chart.

Table 7: Cross-database for analyzing the impact of the HDI on the mass transport system.

SC	Cities	Mode	HDI	Technologies
1	SALTA	1	0,830	9
2	SANTA_FE	1	0,846	9
3	CORRIENTES	1	0,825	9
4	BAHIA_BLANCA	1	0,887	9
5	SANTOS	3	0,840	14
6	MARINGA	2	0,808	11
7	ANAPOLIS	1	0,737	11
8	PETROLINA	1	0,702	11
9	VALLADOLID	1	0,978	14
10	BILBAO	3	0,915	14
11	CORDOBA	1	0,920	14
12	MURCIA	3	0,863	14
13	SINTRA	2	0,931	14
14	VILA_NOVA_DE_GAIA	2	0,900	14
15	PORTO	3	0,900	14
16	CASCAIS	2	0,931	14

Source: Authors (2021).

In table 7, it can be observed that the HDI with an average above 0.900 concentrates the largest number of technologies with an average of 14. The smart mobility indicator as a systemic factor is related to the smart people indicator [36].

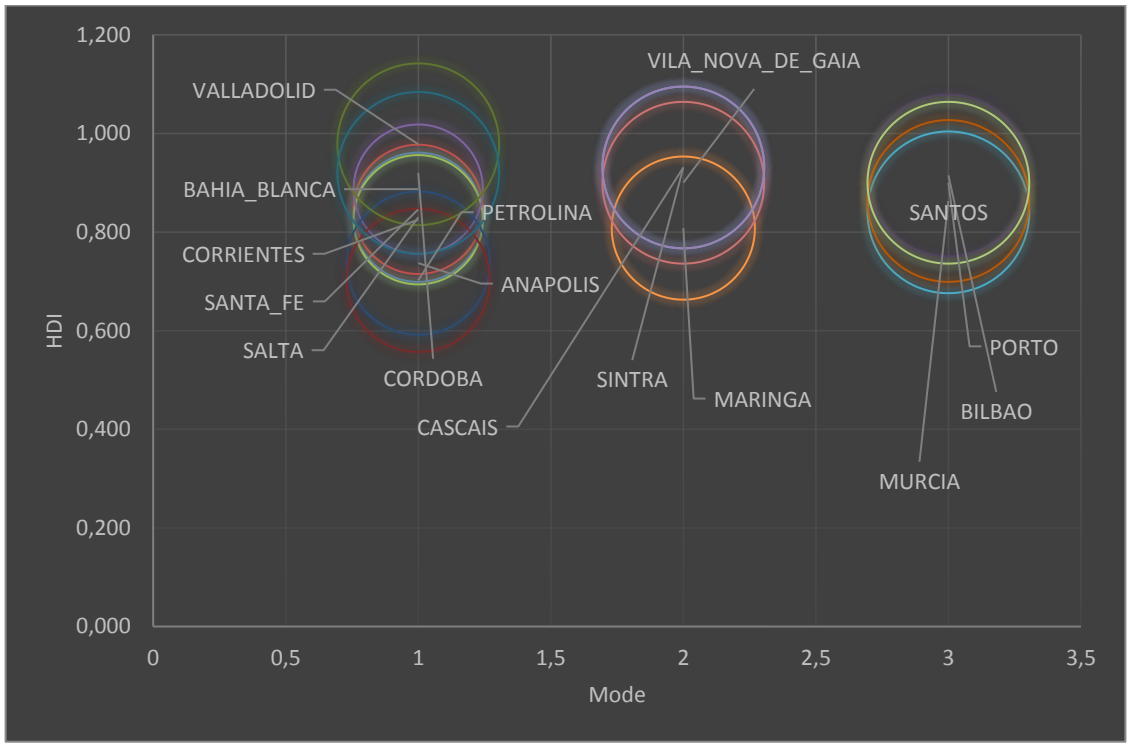


Figure 6: Analyzing the impact of the HDI on the mass transport system.

Source: Authors (2021).

Figure 6 demonstrates that there is no correlation between HDI data and mass transport modes. The performance of smart cities in Argentina, Córdoba (SPA), Valladolid (SPA), Anápolis (BRA), and Petrolina (BRA) show that the higher the HDI, the lower the number of mass transport modes in options. The smart cities Maringá (BRA), Cascais (POR), Sintra (POR) and Vila Nova de Gaia (POR) assume medium values in their performance related to HDI versus mass transport modes. For smart cities like Santos (BRA), Bilbao (SPA), Murcia (SPA) and Porto (POR), HDI follows the proportional growth of mass transport modes as options. In this graphical analysis no outliers were identified. The results of transport performance and socioeconomic data are inversely proportional in the Argentinian smart cities, Córdoba (SPA), Valladolid (SPA), Anápolis (BRA), Petrolina (BRA). The results of the performance of transport and socioeconomic data are proportional for the smart cities of Santos (BRA), Bilbao (SPA), Murcia (SPA) and Porto (POR).Table 8 describes the main variables of the transport systems of the sixteen smart cities, simulating the impact of Demographic Density (inhab/km²) as the main dimension of the bubble graph.

Table 8: Cross-database for analyzing the impact of the density (inhab/km²) on the mass transport system.

SC	Cities	Mode	Density (inhab/km²)	Technologies
1	SALTA	1	7,8	9
2	SANTA_FE	1	6,4	9
3	CORRIENTES	1	11,3	9
4	BAHIA_BLANCA	1	131,1	9
5	SANTOS	3	1.543,80	14
6	MARINGA	2	868,3	11
7	ANAPOLIS	1	414,6	11
8	PETROLINA	1	76,5	11
9	VALLADOLID	1	1.525,30	14
10	BILBAO	3	8.356,50	14
11	CORDOBA	1	260,2	14
12	MURCIA	3	500,1	14
13	SINTRA	2	1.184	14
14	VILA_NOVA_DE_GAIA	2	1.783,40	14
15	PORTO	3	5.736,10	14
16	CASCAIS	2	1.742,60	14

Source: Authors (2021).

Table 8 shows the large variation in population density among the sixteen smart cities. In some of them there is a high rate of demographic density due to their closeness to large metropolitan regions, impacting the volume of information in the mass transport system.

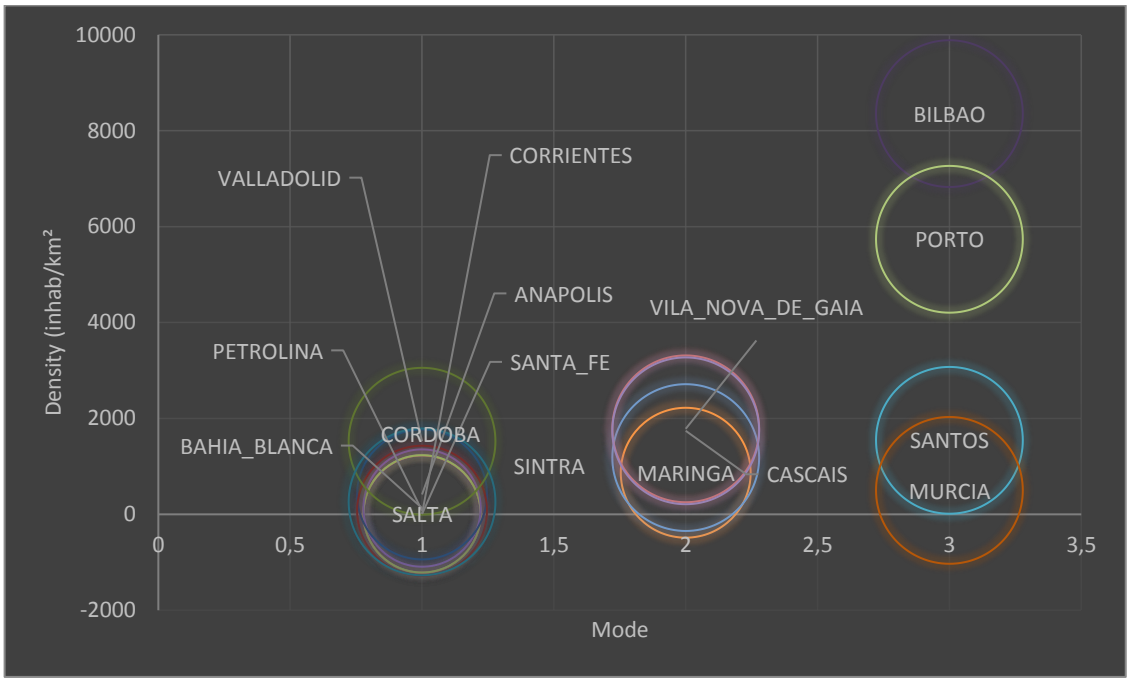


Figure 7: Analyzing the impact of the density (inhab/km²) on the mass transport system.

Source: Authors (2021).

Figure 7 demonstrates that there is a low correlation between population density data (inhab/Km²) and mass transport modes. The performance of smart cities in Argentina, Brazil, Córdoba (SPA), Valladolid (SPA), Murcia (SPA), Cascais (POR), Sintra (POR) and Vila Nova de Gaia (POR) shows that the greater the number of modes of mass transport in options, the smaller is the population density (inhab/Km²). For smart cities like Bilbao (SPA) and Porto (POR) the demographic density (inhab/Km²) follows the proportional growth of mass transport modes as options. In this graphical analysis, the smart cities of Bilbao (SPA) and Porto (POR) were identified as outliers. The results of the performance of transport and socioeconomic data are inversely proportional in smart cities from Argentine, Brazilian smart cities, Córdoba (SPA), Valladolid (SPA), Murcia (SPA), Cascais (POR), Sintra (POR) and Vila Nova of Gaia (POR). The results of the performance of transport and socioeconomic data are proportional for the smart cities of Bilbao (SP) and Porto (POR). Table 9 shows the consolidated result of the techniques applied for graphical analysis among the factors that affect mass public transport in the sixteen smart cities analyzed.

Table 9: Comparison between data on urban mass transport modes, technologies, economic and socioeconomic conditions.

Figure	Titles	Correlation between data	Smart cities performance	Outilers
6	Analyzing the impact of the public budget on the mass transport system.	Medium	Medium	No outliers
7	Analyzing the impact of the HDI on the mass transport system.	No correlation	Strong	No outliers
8	Analyzing the impact of the density (inhab/km²) on the mass transport system.	Low	Low	Outliers found

Source: Authors (2021).

In this case, the graphical analyzes reveal the importance of mapping technological, economic, and socioeconomic data in the sustainability of public transport in smart cities. This impact of these data comes through the greater or lesser planning for public transport of buses, tramways, subways and urban and metropolitan trains, which influences the decision-making in the master plan of a smart city for the mobility and sustainability indicator.

6. Conclusion

The study identified that the networks of the sixteen smart cities depend largely on intelligent public transport technologies, with the use of Intelligent Transportation Systems (ITS) to collect information on mass transport mobility. Diesel and the bus mass transport mode predominate, despite the efforts to use electrical energy sources such as tram, subway and trains in European smart cities and in the Brazilian smart city of Santos. There is scope for smart cities in Argentina and Brazil to explore the implementation of technologies for the use of renewable fuels. Within the network simulated by SNA, Santos (BRA) and the European smart cities use the greatest number of smart technologies and of alternatives to the use of diesel, specially in electrified energy. The main point discovered by the SNA methodology is that there is space in the networks for the inclusion of more technologies, such as Industry 4.0 and Industry 5.0 technologies, to increase the connectivity and the capillarity of information on urban mobility for mass transportation. Graphical analyzes resulted in positive and negative impacts in relation to transportation data, technologies, economic data, and socioeconomic data. As a negative impact, investments are often inversely proportional to these categories, causing a deficit from one factor to another in mass mobility in buses, tramways, subway and trains. In the future, there is possibility to explore public transport planning policies that generate proportionality to the continuous growth between mass transport modes, technologies and economic and socioeconomic data. As a positive impact, some smart cities such as Bilbao (SPA), Porto (PORT), Santos (BRA) and Murcia (SPA) correctly maintain the proportionality among investments in mass transport, economic and socioeconomic factors, serving

good practices that can be adapted by other smart cities on public transport. The researched literature and the methodology applied in this study bring suggestions and contributions for future research related to the theme “available technologies for mass public transport in next-generation smart cities”. This search can bring new mass public transport systems models or configurations that prioritize the speed of data collection and treatment, as well as the decision-making in relation to buses, tramways, subways and urban and metropolitan trains for urban mobility.

Acknowledgment

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

References

[1]. A. Akande, P. Cabral., P. Gomes, and S. Casteleyn. “The Lisbon ranking for smart sustainable cities in Europe.” *Sustainable Cities and Society*, vol. 44, pp. 475-487, 2019.

[2]. A. H. Alavi, P. Jiao, W. G. Buttlar and N. Lajnef. “Internet of Things-enabled smart cities: State-of-the-art and future trends.” *Measurement*, vol. 129, pp. 589–606, 2018.

[3]. T. Okuda, S. Hirasawa, N. Matsukuma, T. Fukumoto and A. Shimura. “Smart Mobility for Smart Cities.” *Hitachi Review*, vol.61, pp. 141–148, 2012.

[4]. A. C. P. Ferraz and I. G. .E Torres. *Transporte Urbano Público*. São Carlos: Rima,, 2004.

[5]. V. Vuchic. *Urban Transit: Systems and Technology*. Hoboken: John Wiley & Sons , 2007.

[6]. L. A. Hoel, J . N. Garber, and A. W. Sadek. *Transportation Infrastructure Engineering: A Multimodal Integration*. SI Version, 1st. Cengage Learning, 2008.

[7]. American Public Transportation Association. “Public Transportation Fact Book, 61st ed”. Internet: http://americandreamcoalition.org/transit/APTA_2010_Fact_Book.pdf, Ago. 09, 2020 [Set. 25, 2020].

[8]. C. O. Nwagoboso. *Advanced Vehicle and Infrastructure Systems. Computer Application, Control and Automation*. England: John Willey &Sons Ltd ,1997.

[9]. S. Majumder, K. De, P. Kumar and R. Rayudu. “A Green Public Transportation System Using E-buses: A Technical and Commercial Feasibility study.” *Sustainable Cities and Society*, 101789, 2019.

[10]. G. Piazza, G. Bracco, S. Siri and F. Delfino, "*Integration of electric mobility services within an existing polygeneration microgrid*", IEEE International Conference on Environment and Electrical (EEEIC / I&CPS Europe), Genova, Italy, pp. 1-6, 2019.

[11]. S. M. S. G. Velásquez, J. R. Moreira, S. A. Santos and S. T. Coelho, “Project BEST — Bioethanol for Sustainable Transport — And the public policies of encouragement to ethanol usage”, International Conference on Electrical and Control Engineering, 2011.

[12]. M . V. Moreno, F. Terroso-Sáenz, A. González-Vidal, M. Valdés-Vela, A. F. Skarmeta and M. A. Zamora, “Applicability of Big Data Techniques to Smart Cities Deployments.” *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 2, ed. 13, pp. 800–809, 2016.

[13]. B. Kim, M. Yoo, K. C. Park, K. R. Lee and J. H. Kim. “A value of civic voices for smart city: A big data analysis of civic queries posed by Seoul citizens.” *Cities*, vol. 108, 102941, 2021.

[14]. A. Papola, F. Tinessa, V. Marzano and A. Mautone. “Quantitative overview of efficiency and effectiveness of public transport in Italy: The importance of using ITS.” 2017 5th IEEE International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS), 2017.

[15]. X. Pan, and L. Gao. “Research on Interactive Information Design for Intelligent Urban Public Transport.” 2020 IEEE International Conference on Power, Intelligent Computing and Systems (ICPICS), 2020.

[16]. D. Vakula, and B. Raviteja. “Smart public transport for smart cities.” 2017 International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS), 2017.

[17]. P. Horazdovsky, s. Kozhevnikov and m. Svitek. “Dynamic Public Transport in Smart City using Multi-agent system.” 2019 Smart City Symposium Prague (SCSP), 2019.

[18]. M. Xylia, O. Ibrahim and S. Silveira. “Fossil-free public transport: Prescriptive policy analysis for the Swedish bus fleets.” 13th International Conference on the European Energy Market, 2016.

[19]. R. Barrero, J. V. Mierlo and X. Tackoen. “Energy savings in public transport.” IEEE Vehicular Technology Magazine, vol. 3, n. 3, pp. 26–36, 2008.

[20]. G. Nowacki. “Development and Standardization of Intelligent Transport Systems.” *International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, vol. 6, ed. 3, pp. 403-411, 2012.

[21]. J. Sussman. *A short history Perspectives on Intelligent Transportation Systems (ITS), Perspectives on Intelligent Transportation Systems (ITS).* Springer, 2005.

[22]. M. Ferguson, M. Mohamed and H. Maoh, “On the Electrification of Canada’s Vehicular Fleets: National-scale analysis shows that mindsets matter.” *IEEE Electrification Magazine*, vol. 7, n. 3, pp. 55–65, 2019.

[23]. G. Correa, P. M. Muñoz and C. R. Rodriguez, C. R. “A comparative energy and environmental analysis of a diesel, hybrid, hydrogen and electric urban bus.” *Energy*, 115906, 2019.

[24]. C. L. Popescu and M. O. Popescu, “Life in 2030-brief presentation from the IEEE reviews”, 8th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (Atee), 2013.

[25]. M. Jafari, A. Kavousi-Fard, T. Niknam and O. Avatefipour. “Stochastic synergies of urban transportation system and smart grid in smart cities considering V2G and V2S concepts.” *Energy*, vol. 215, 119054, 2021.

[26]. S. Wassermam and K. Faust. *Social network analysis: methods and applications*. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

[27]. D. Knoke and S. Yang, S. “Social network analysis”. Sage Publications, 2nd Edition, 2008.

[28]. J. Scott. “*Social Network Analysis: a handbook”*. London: Sage Publications, 2000.

[29]. R. Watts and A. Witham. “*Social Network Analysis of Sustainable Transportation Organizations.*” A Report from the University of Vermont Transportation Research Center, UVM TRC Report # 12-008, Transportation Research Center, pp. 1-30, 2012.

[30]. S. P. Holland, E .T. Mansur, N. Z. Muller and A. J. Yates. “The environmental benefits of transportation electrification: Urban buses.” *Energy Policy*, vol. 1, ed. 48, 111921, 2021.

[31]. European Comission Transport. Internet: https://ec.europa.eu/transport/home_en, Nov. 29, 2020 [Dez. 10, 2020].

[32]. Bilbao Por. Internet: https://www.bilbaoport.eus/en/, Dez. 01, 2020 [Jan. 22, 2021].

[33]. Porto de Leixões. Internet: http://www.apdl.pt/header, Jan. 06, 2021 [Fev. 07, 2021].

[34]. Porto de Lisboa. Internet: https://www.portodelisboa.pt/, Jan. 03, 2021 [Fev. 11, 2021].

[35]. Santos for authority. Internet: http://www.portodesantos.com.br/, Dec. 12, 2020 [Jan. 06, 2021].

[36]. Vienna University of Technology. European Smart Cities. Retrieved from http://www.smart-cities.eu/index.php?cid=-1&ver=4, 2015. [Mar. 15, 2021].

Artigo 2

2.1.2 Available Technologies for Mass Transport Modes in Smart Cities

Esse artigo foi aceito no periódico internacional “Modern Economy”, em novembro de 2021, tendo a publicação no ISSN Online: 2152-7261 ISSN Print: 2152-7245 (https://www.scirp.org/journal/me/), e segue a formatação desse periódico.

Available Technologies for Mass Transport Modes in Smart Cities

Luiz Rodrigo Bonette[1], João Gilberto Mendes dos Reis[2]

Postgraduate Program in Production Engineering (PPGEP), Universidade Paulista (UNIP), São Paulo, Brazil
luiz.bonette@aluno.unip.br, joao.reis@docente.unip.br

How to cite this paper: Bonette, L.B, do Reis, J.G.M. (2021) Available Technologies for Mass Transport Modes in Smart Cities. ****, *, **-**. https://dx.doi.org/10.4236/***.2021.*****

Received: **** **, ***
Accepted: **** **, ***
Published: **** **, ***

Copyright © 2021 by author(s) and Scientific Research Publishing Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Open Access

Abstract

Mass transit is essential to the movement of people in urban cities. A city that intents to be smart needs to integrate mass transit systems — buses, tramways, subways, and trains — with Intelligent Transportation Systems (ITS) to improve urban transport services. The objective of this study is to analyze the relation of mass transportation modes in smart cities with the technology applied to them. Thus, a literature review was conducted to identify scientific publications about the theme, and the textual mechanic analysis using Iramuteq software 4.0.3 was applied. This study cites the technologies incorporated to mass transportation modes presented in literature and describes the current scenario of smart and sustainable mobility for public transportation.

Keywords

Mass Transit, Smart Cities, Technologies, Review.

1. Introduction

Smart Cities seek to apply sustainable technology to mitigate climate change and improve the resilience of social dynamics in a global, creative, and intelligent way in urban areas (Hatuka et al., 2018). Urban factors and indicators contribute to mapping and planning in Smart Cities (Giffinger et al., 2007) by the intensive use of technological resources (Cugurullo, 2018).

There is not a single definition of Smart Cities, and there are different standards adopted for their assessment (Ramaprasad et al., 2017). There is a variety of indicators for Smart Cities (Chourabi et al., 2012), and new indicators, such as water and public transport management, that can be included in addition to the traditional ones (Kylili & Fokaides, 2015). The concept of Smart City is emerging and uses different reflections, constituting a fertile field for research in the most different areas of knowledge (Janik et al., 2020).

A Smart City is a community formed by a flexible service-oriented computing infrastructure based on open standards and with innovative services that serve its population (Toru & Isbiste, 2000; Yovanof & Hazapis, 2009; Lee et al., 2014). Since 1990 the theme Smart Cities has been associated with an ideal city, and from 2000 to 2020 its conceptual structure was consolidated in a pioneering manner (Giffinger et al., 2007).

Currently, Smart Cities are exploring alternatives to respond to the growth of

urbanization and its consequences and challenges, also serving as a trend to facilitate technology as a basis for smart cities (Alavi et al., 2018). There are also strategic approaches of technology providers in Smart Cities with a focus on complex systems and their digital infrastructures, on Big Data Analytics, on optimization and digital automation of services, on oriented hardware and software, on connectivity and the Internet of Things (IoT), on Cloud Computing and on the Internet of Service (IoS), on Strategy Consulting, and on service outsourcing (Buuse & Kolke, 2019).

One of the main challenges in Smart Cities is the transportation systems. The current private transport system based on cars is inefficient and unsustainable, while mass transportation systems provide constant travel, combining different modes and transport services (Utriainem & Pollanen, 2018).

Therefore, it is important to determine how mass transportation systems have been incorporated into technology to meet the demand in smart cities based on the literature that studies the subject. The researched literature addresses studies for autonomous and sustainable public transport in the Smart Cities environment, specifically in the use of smart and less polluting technologies for mass transportation. And several authors discuss smart technologies applied to mass transit (Mouratidis & Serrano, 2021; Kim et al., 2021; Piao et al., 2020) and their energy efficiency and sustainability (Correa et al., 2019; Savchuk & Nahorny, 2020).

The importance of this article is the discussion of how subways, tramways, and specially buses technologies can improve smart and sustainable mobility in smart cities, as well as to investigate these technologies availability in the future to mitigate the challenges of dealing with thousands of public transportation data. It is important to highlight that one limitation of this article is that the major analyzed contexts of this work were smart cities from high technology poles in Europe and America, which can bias the determination of these technologies availability to all smart cities, regardless to their economic, and social evolution and their investments on Research and Development (R&D)

The article explores a novelty in academic research that is the grouping of smart and sustainable technologies for mass transport modes in smart cities at the beginning of the 21st Century. It brings to the discussion the analysis of these trends for public transport in smart cities

In this context, this article aims to analyze the modes of mass transportation in smart cities through smart and sustainable technologies described in the literature. This work seeks to contribute to the theoretical discussion on smart and sustainable mobility in smart cities from existing technologies in mass transport. The methodology applied is the literature review mechanized via textual analysis using Iramuteq software version 4.0.3.

This paper is organized as follows: the introduction section gives a brief account of the environment between smart cities, public transport and mass transport modes, relating them to the objectives, trends and results of the research; in the smart cities section, an argument for the review is sought, in the methodology section, possible smart and sustainable technologies for mass transport modes are raised; the results and discussion section consolidates the

results of the literature review and mechanized textual analysis; and the conclusion section defines which technologies and transport modes are trends in the last twenty years for smart cities according to applied research.

2. Smart Cities

Smart City is the process of the virtual reconstruction of a city through its connections and spaces using new technologies (Droege, 1997). They are intelligent environments implanted through information and communication technologies, creating intelligent spaces in urban areas (Steventon & Wright, 2006). They aim is to make the infrastructure components and essential services of a city more intelligent, interconnected, and efficient (Hollands, 2008; Washburn et al., 2010; Anthopoulos & Fitsilis, 2010).The city is monitored by the authorities through an intelligent network, and, on the other hand, users can access services regardless of where they are (Jang e Suh, 2010). It connects new information and communication technologies to the modernization of cities' infrastructure (Janik et al., 2020).

Cities can be classified in four levels, according to the technologies that are applied and adopted in their urban structure (Leem & Kim, 2013; Hall et al., 2000; Dirks & Keelin, 2020). The first level is called Digital City, in which there is a service-oriented infrastructure that connects individuals to the smart devices of a city. The main feature of this city is the use of a flexible computational structure with open systems provided by the industry and with innovative technological standards (Leem & Kim, 2013; Yovanof & Hazapis, 2009).The second level is called Intelligent City, which focuses on data that is identified and connected by Artificial Intelligence and Learning Machine (Komminos, 2006). The third level is known as Smart City which uses smart indicators with the objective of sustainability in urban areas (Hollands, 2008; Petrolo et al., 2014; Washburn et al., 2010; Anthopoulos & Fitsilis, 2010), and the fourth classification is called Ubiquitous City, which conceptualizes that all public services are comprehensive, ubiquitous, and accessible to all technological infrastructures of the smart city concept (Jang & Suh, 2010).

Smart Cities factors and indicators can be similar over time in different cities and stages with socioeconomic, economic, and environmental, contributing to the evolution of these smart characteristics (Giffinger et al., 2007; Meijeringa et al., 2014; Clarke, 2013; Artieda, 2017; ISO 37122, 2017; Monzon, 2015). Smart Cities are formed by categories such as technology, management and organization, political context, governance, people and communities, economy, construction of infrastructure and environment (Alawadhi et al., 2012). They are composed of pillars such as the social, the management, the economics, the legal aspects, the technology, and sustainability (Sujata et al., 2016), and indicators as Smart Economy, Smart Governance, Smart Living, Smart Environment and Smart Mobility (Giffinger et al., 2007; Papa et al., 2015). A Smart City develops human, social, transport, and modern communication areas, infrastructure investment, leading to sustainable economic growth and high quality of life (Caragliu & Bo, 2018).

3. Methodology

The qualitative approach methodology was developed in two steps:

The first one is the data collecting, in which a literature review based on planning, selection, extraction and execution (Okoli & Schabram, 2010; Stechemesser & Guenther, 2012) was performed on Science Direct and IEEE Xplore academic reference bases. The objective of this stage was to collect publications that related their papers' keywords to mass transit modes, energy sources and technologies research objects in the past 20 years.

The procedures for collecting this data can be described as follows:

1. The first criterion was that the articles should be empirical studies published in scientific journals about the mass transit modes, energy sources and technologies.
2. The abstracts were exported from the academic databases using electronic spreadsheets to better collect and manage bibliographic references.
3. A total of 818 abstracts catalogued between 2009 and 2021 were found in the IEEE Xplore, and 917 of them in Science Direct academic reference base. There were 100 papers duplicated in the two bases, and they were excluded from one of them, so that the result could be a list of unique papers
4. The second exclusion criterion was the non-association of mass transit theme to smart cities literature or the fact that the original research had not been developed in a smart city environment
5. From the 818 found in IEEE Explore academic database, 798 were excluded, resulting in 20 articles to be analyzed. From Science Direct academic database, 901 works were excluded out of 917, which resulted in 16 selected articles. This, the number of articles in the analyzed sample was 36.

Once the sample was established, the following procedures were taken:

1. Using the bibliometric indicators used on the index fields taken from the research base, a descriptive analysis was developed rostering the following items: author, abstract, keywords, citation numbers, patent numbers, publication topics and references.
2. After that, a qualitative analysis of each article content was done, aiming at the identification of the themes that were in the introduction, objective, instruments, and main results.

After these procedures, the articles which mentioned smart and sustainable technologies, mass transit transportation, the authorship and the year of publication related to the bibliographical results were listed.

The result of this step can be seen in **Table 1**.

Table 1. Literature on smart and sustainable technologies for mass transport in smart cities

Mass Transit	Authors	Theme
E-buses	Shaikh *et al.* (2020)	Applications/ Tracking
	Soni & Upadhyay (2016)	Green power source
	Wang *et al.* (2013)	Wind energy efficiency
	Zhang *et al.* (2017)	Electric power/ route optimization
	Zhang (2017)	Energy efficiency
	Utsumi *et al.* (2013); Liberto *et al.* (2018); Meishner *et al.* (2017)	Energy and sustainable efficiency
	Piazza *et al.* (2019)	Smart Energy and Smart Mobility
	Gabbar *et al.* (2020)	Clean power source
	Ferguson *et al.* (2019)	Transition to electrification
	Kadam *et al.* (2018)	Smart bus
	Muthuselvil *et al.* (2019)	Intelligent Bus System Based on IoT
	Mouratidis & Serrano (2020)	Autonomous Buses
BEBs	Correa *et al.* (2019)	Energy transition between Diesel, Hybrid, Electric; Fuel cell.
	Lv *et al.* (2021)	Deep Learning
	Tesar *et al.* (2020)	Energy efficiency and batteries
	Lv *et al.* (2021)	Energy and sustainable efficiency
	Ke *et al.* (2020)	Smart grid, residual energy e wind energy
	Mahmoud *et al.* (2016)	Alternative energy sources (Hybrid, fuel cell, and battery)
	Majumder *et al.* (2019)	Additional charge for photovoltaic charging (Clean Energy Sources)
	He *et al.* (2020)	Energy and sustainable efficiency by smart charging
	Ma *et al.* (2021)	Energy efficiency and Smart Card
Bioethanol bus	Velásquez *et al.* (2011)	Energy efficiency
Tramways	Belhassen *et al.* (2019)	Algorithms and techniques for facial and object detection by application
	Popescu & Popescu (2013)	Smart grid and new sources (renewable)
	Vernard *et al.* (2009)	Real-time computing device for the visually impaired
	Chen *et al.* (2019)	Deep Leaning
	Retscher & Bekenova (2020)	Wi-fi and sensors
	Akcin *et al.* (2016)	Energy and sustainable efficiency
	Savchuk & Nahorny (2020)	Sustainable and ecological technologies
Subway	Kim *et al.* (2021)	Big Data and Artificial intelligence
	Piao *et al.* (2020)	Machine Learning and Virtual Reality
	Kang *et al.* (2020)	Energy efficiency by algorithms
	Loy-Benitez *et al.* (2020)	Sensors for air quality in stations
	Jafari *et al.* (2021)	Regenerative Breaking Energy (RBE)

Source: Authors, from the literature.

The second step was the application of the mechanized textual analysis technique. There was a mechanized application via textual analysis by the Iramuteq software version 4.0.3 on the data collected from step one. Iramuteq is a free and open-source software, which allows statistical analysis on textual corpus and on tables in - individuals/words, developed by Pierre Ratinaud (Lahlou, 2012; Marchand & Ratinaud, 2012) and licensed by the GNU GPL (v2). It is anchored in the R software

(Software R, 2021) and in the Python language (Python, 2021). The purpose of the program is to provide more accurate support for text analysis, making it possible to present statistics, Reinert's Method, similarities, classifications, and word clouds.

After Iramuteq's analysis, the data presented on Table 1 was separated into two groups. The first group is comprised by 11 articles (out of 36 articles in Table 1) which focus on research in "smart technologies" and are disposed on Table 2. The second group is constituted by 25 articles out of 36, which focus on research in "sustainable technologies" and are presented on Table 3.

Table 2. Smart technologies for mass transport in smart cities

Technologies	Mass Transit	Authors
Smart	**E-Buses**	Shaikh et al. (2020)
		Kadam et al. (2018)
		Muthuselvil et al. (2019)
	BEBs	Mouratidis & Serrano (2020)
		Lv et al. (2021)
	Tramways	Belhassen et al. (2019)
		Vernard et al. (2009)
		Chen et al. (2019)
		Retscher & Bekenova (2020)
	Subway	Kim et al. (2021)
		Piao et al. (2020)
		Mahmoud et al. (2016)
		Majumder et al. (2019)
		He et al. (2020)
		Ma et al. (2021)
	Tramways	Popescu & Popescu (2013)
		Akcin et al. (2016)
		Savchuk & Nahorny (2020)
	Subway	Kang et al. (2020)
		Loy-Benitez et al. (2020)
		Jafari et al. (2021)

Source: Author, from the literature.

Table 3. Sustainable technologies for mass transport in smart cities

Technologies	Mass Transit	Authors
Sustainable	E-Buses	Soni & Upadhyay (2016)
		Wang *et al.* (2013)
		Zhang *et al.* (2017)
		Zhang. 2017)
		Utsumi *et al.* (2013)
		Liberto *et al.* (2018)
		Meishner *et al.* (2017)
		Piazza *et al.* (2019)
		Gabbar *et al.* (2020)
		Ferguson *et al.* (2019)
	Bioethanol bus	Velásquez *et al.* (2011)
	BEBs	Correa *et al.* (2019)
		Tesar *et al.* (2020)
		Lv *et al.* (2021)
		Ke *et al.* (2020)
		Mahmoud *et al.* (2016)
		Majumder *et al.* (2019)
		He *et al.* (2020)
		Ma *et al.* (2021)
	Tramways	Popescu & Popescu (2013)
		Akcin *et al.* (2016)
		Savchuk & Nahorny (2020)
	Subway	Kang *et al.* (2020)
		Loy-Benitez *et al.* (2020)
		Jafari *et al.* (2021)

Source: Author, from the literature.

3. Results and Discussion

3.1 Modes of Mass Urban Transit in Smart Cities

Mass urban transport proposes models of transport modes within the environment of the fourth industrial revolution, or the technologies of Industry 4.0, such as Battery Electric Buses (BEBs), E-buses, Smart Tramways, Smart Subway, and Smart Trains. It places this technology to improve communication, intelligent information, and environmental sustainability to enhance actions in smart cities mitigating the challenges of smart mobility.

Two aspects can be explored in the literature on smart cities and mass transit and their smart and sustainable technologies related to the abundance or scarcity of research on buses, tramways, subway, and trains:

1) There is some research on smart cities environment, but they do not cite the expression “smart cities” in their publications, even if they are included in

urban or metropolitan technological environment for trams (Vernard *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2019; Retscher & Bekenova, 2020, Akcin *et al.*, 2016; Savchuk & Nahorny, 2020) or subways (Kim *et al.*, 2021; Piao *et al.*, 2020, Kang *et al.*, 2020, Loy-Benitez *et al.*, 2020; Jafari *et al.*, 2021).

2) There are studies developed in the environment of smart cities that mention the expression "smart cities" in their publications related to urban or metropolitan technological environment for BEBs (Mouratidis & Serrano, 2021; Correa *et al.*, 2019), Majumder *et al.*, 2019), tramways (Vernard *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2019; Retscher & Bekenova, 2020; Akcin *et al.*, 2016; Savchuk & Nahorny, 2020) and subways (Kim *et al.*, 2021; Loy-Benitez *et al.*, 2020; Jafari *et al.*, 2021). It means that the connection between Smart Cities and mass transit can be a field to be explored in the coming years.

3) There was not enough research on technologies for urban and metropolitan trains to be included in this review. This outcome suggests the need to increase the researched academic bases to look for these keywords to be explored through specific future literature reviews.

3.1. Textual analysis of smart technologies in mass transport modes in smart cities

Table 2 presents the literature on smart technologies as a database for textual analyses. The first relation presented by Iramuteq is the word count and the structure of texts on smart technologies. The results from this analysis were:

- Number of texts: 11.
- Number of occurrences: 2131.
- Number of forms: 697.
- Hapax number (expressions used a single time): 442 (19.80% occurrences – 60.55% forms).
- Average occurrences/text: 193.73.

The Zipf diagram, **Figure 1**, is the graphic representation of the frequency of a term with its ranking (rangs). That is, the ranking organizes the position of those which are most cited. As it can be seen in the report and in the graph, only one term is constantly repeated, while the vast majority – 442 terms – is mentioned only once. It indicates a wealth of vocabulary on the part of the IEEE Xplore and Science Direct academic reference bases. The higher the single frequency of a term, the more complex the text

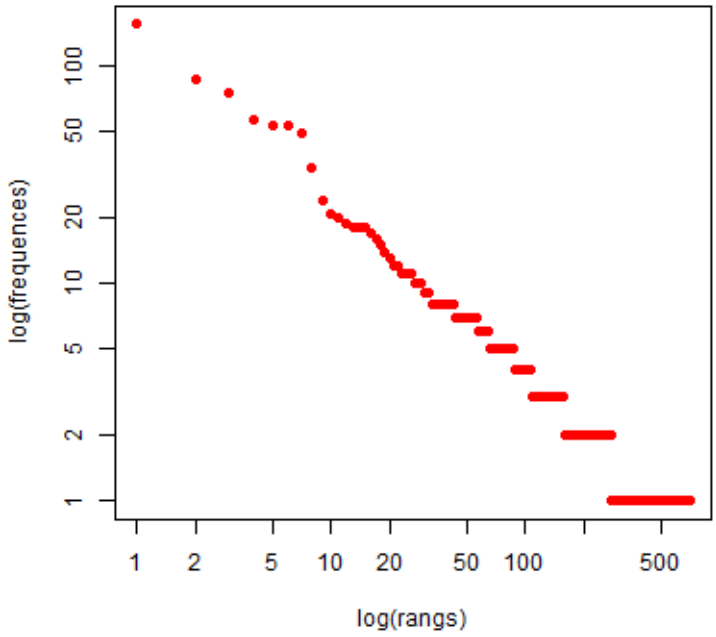


Figure 1. Zipf diagram on smart technologies. Source: Iramuteq (2021).

Among the most used expressions in the 11 articles collected with the theme of smart technologies, there were the mentions ‘bus’ (53 occurrences), ‘model’ (20 occurrences) and ‘passenger’ (19 quotes), the words ‘system’ and ‘time’ had nine mentions each. The word ‘autonomous’ appeared 8 times; ‘operation’, ‘transport’, and ‘urban’ had 7 mentions each, while ‘detection’, ‘service’, and ‘smart’ had 6 mentions. It is important to mention that the terms ‘algorithm’, ‘android’, ‘environment’, ‘information’, ‘prediction’, ‘technology’, ‘traffic’, ‘tramway’, and ‘vehicle’ had 5 mentions each.

In these cases, the relationship between technologies from industry 4.0 and industry 5.0 stands out, especially because of the constant connection with the theme of smart cities and public transportation. The term ‘bus’ is constantly used as associated with the system of simulator technologies for time-targeted routes and for data transmission in the urban transport system of a smart city. For example, authors such as Shaikh *et al.* (2020) explore applications/ tracking for smart technologies in their research, Kadam *et al.* (2018) explore smart bus and Muthuselvil *et al.* (2019) explore intelligent bus system based on IoT. Mouratidis and Serrano (2020) explore research on autonomous buses and Lv *et al.* (2021) explore deep learning research, regardless of Industry 4.0 or Industry 5.0 technologies applied, as these authors focus their efforts on smart mass transit to a smart city.

Figure 2 presents the result of Reinert's Method application, for mapping the vocabulary according to the vicinity of terms to the quadrants in relation to texts on smart technologies.

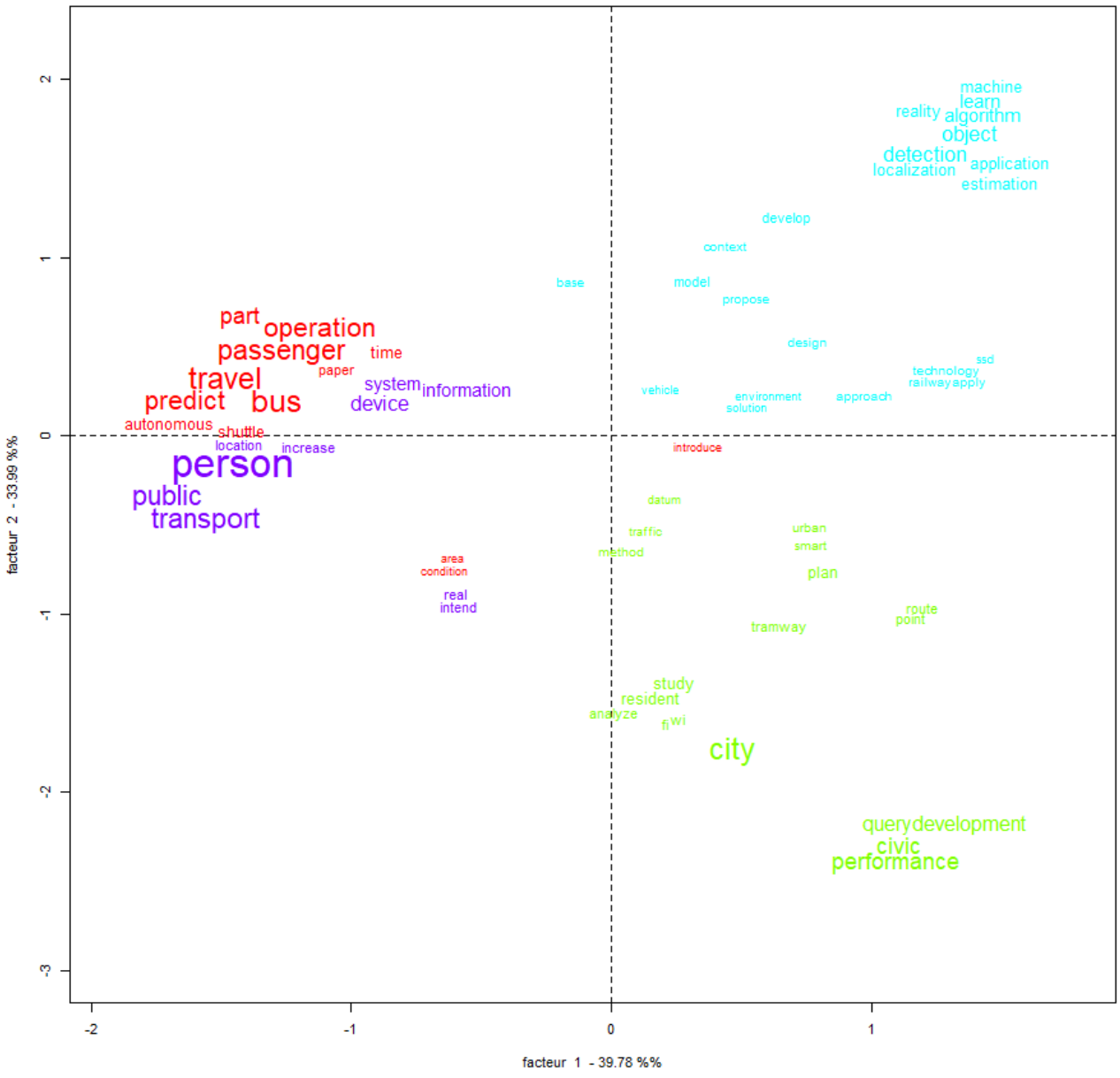


Figure 2. Reinert's Method graph of selected texts on smart technologies. Source: Iramuteq (2021).

When building the word cloud from the counting performed by Iramuteq, the following formation can be seen:

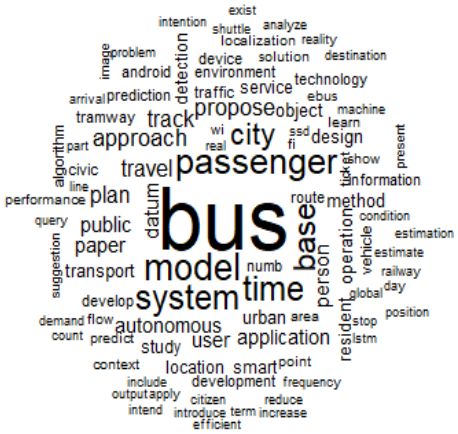


Figure 3. Word cloud of selected texts about smart technologies. Source: Iramuteq (2021).

In addition to the mentions already highlighted in this analysis, it is also possible to verify the words related to transport systems such as ‘travel’, ‘public’, ‘application’, ‘service’, and ‘smart’, as well as terms more associated with public transportation, such as ‘passenger’, and ‘system’, frequently used in the collected scientific articles. The connection of these words results in the so-called ‘similarity analysis’, which represents the similarity between all texts selected for the corpus. The closer they are, the more similar the expressions. (**Figure 4**).

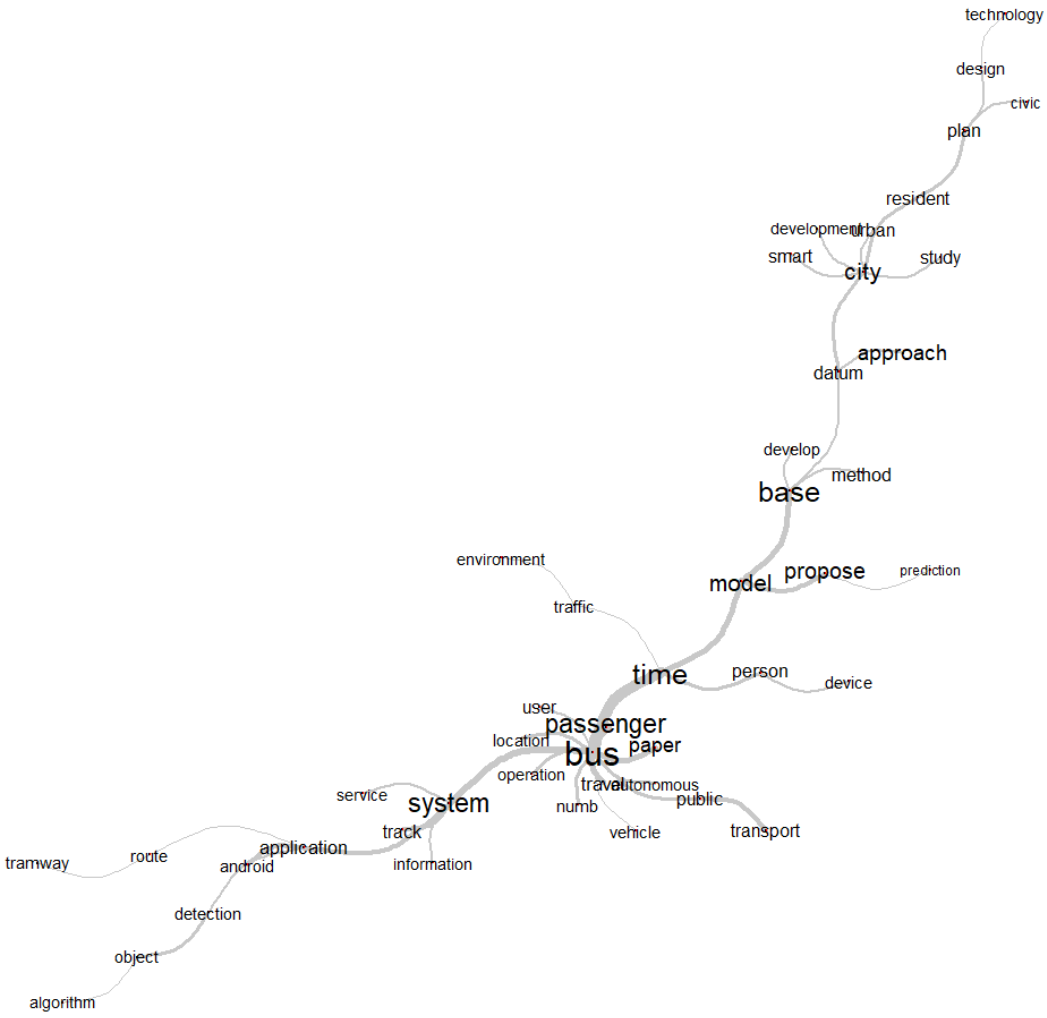


Figure 4. Word tree of texts about smart technologies. Source: Iramuteq (2021).

It is possible to verify that the bus transport mode is often associated with terms which are most of the time linked to the transportation system management actions for the use of intelligent technologies, focused on current issues of use of autonomous technologies, such as 'operation', 'application', 'detection', 'method', 'prediction', and 'development'. In general, it is possible to observe that the terms are (deeply) associated to the construction of intelligent environment context for the transport system, focused on meeting the needs of urban mobility for the population.

Finally, it's possible to say that the size of the abstracts texts — five paragraphs on average — do not influence the depth of the vocabulary and the relationship with the methodology of the research, as the quality is in its technological results for the mass transportation system.

4.2. Textual analysis of sustainable technologies in mass transport modes in smart cities

Table 3 presents the literature on sustainable technologies as a database for textual analyses, whose results are disposed on **Figure 5**.

The first list presented by Iramuteq is the word count and structure of texts on sustainable technologies. For this analysis, we obtained:

- Number of texts: 25.
- Number of occurrences: 4138.
- Number of forms: 1003.
- Hapax number (expressions used a single time): 504 (12.18% occurrences –
- 50.25% forms).
- Average occurrences/ text: 165.52.

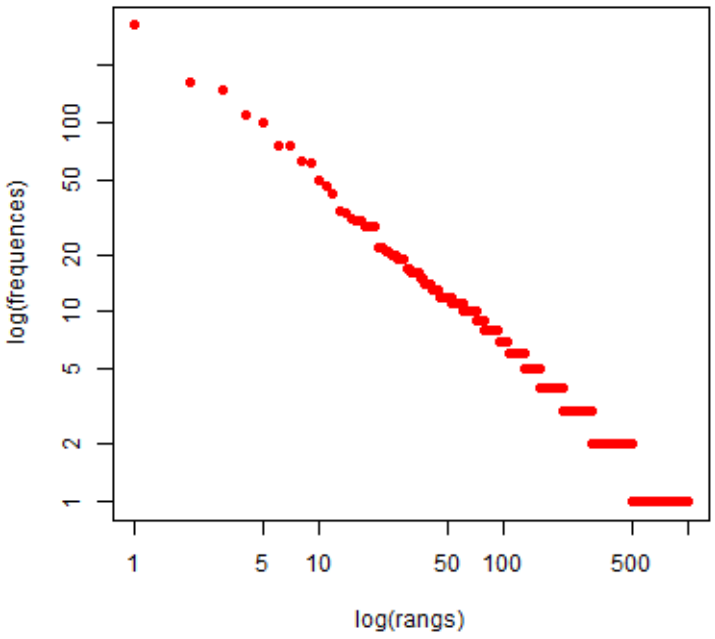


Figure 5. Zipf diagram on sustainable technologies. Source: Iramuteq (2021).

Among the most used terms in the 25 articles collected on the theme of sustainable technologies, there are the words 'bus' (75 mentions), 'energy' (49 mentions), 'charge' (46 mentions), 'model' (34 mentions), 'system' (33 mentions), 'city' and 'electric' (30 mentions each), 'battery' (22 mentions) and 'power' (20 mentions). The terms 'operation' and 'vehicle' had 19 mentions, 'public' and 'result' had 17 mentions, while 'cost', and 'technology' were mentioned 14 times. It is important to emphasize that 'consumption', 'electricity', 'electrification', 'present' and 'urban' had 12 mentions each.

In these cases, the stranded-out relation happens among technologies in the search for cleaner energy sources for the modes of public transportation, especially because of the constant connection with the model themes of energy system and public transport. The word 'bus' is constantly associated with the technologies of electric, electrified and battery power systems in public transportation in a smart city. For example, authors such as Soni and Upadhyay (2016) explore research on green power source, Wang *et al.* (2013) detail the use of wind energy efficiency, while Zhang *et al.* (2017) apply electric power for route optimization for E-buses with electrical systems. Correa *et al.* (2019) explore energy transition among diesel, hybrid, electric; fuel cell in their research, Tesar *et al.* (2020) detail energy

efficiency and batteries, while Lv *et al.* (2021) apply energy and sustainable efficiency to Battery Electric Bus (BEBS), regardless of the technologies they used (electric chargers or rechargers or battery systems coupled to vehicles).

Popescu and Popescu (2013) explore smart grid and new sources (renewable) in their research, Akcin *et al.* (2016) explore energy and sustainable efficiency, Kang *et al.* (2020) explore energy efficiency by algorithms, and Loy-Benitez *et al.* (2020) explore sensors for air quality in stations and seek to improve the performance of electrified mass transport as a whole and not just in the tramway or subway transportation mode.

All the mentioned authors focus their efforts on creating less polluting and more efficient technologies for the metro-railway transport system.

Figure 6 presents the result of Reinert's Method application, for mapping the vocabulary according to the vicinity of terms to the quadrants in relation to texts on sustainable technologies.

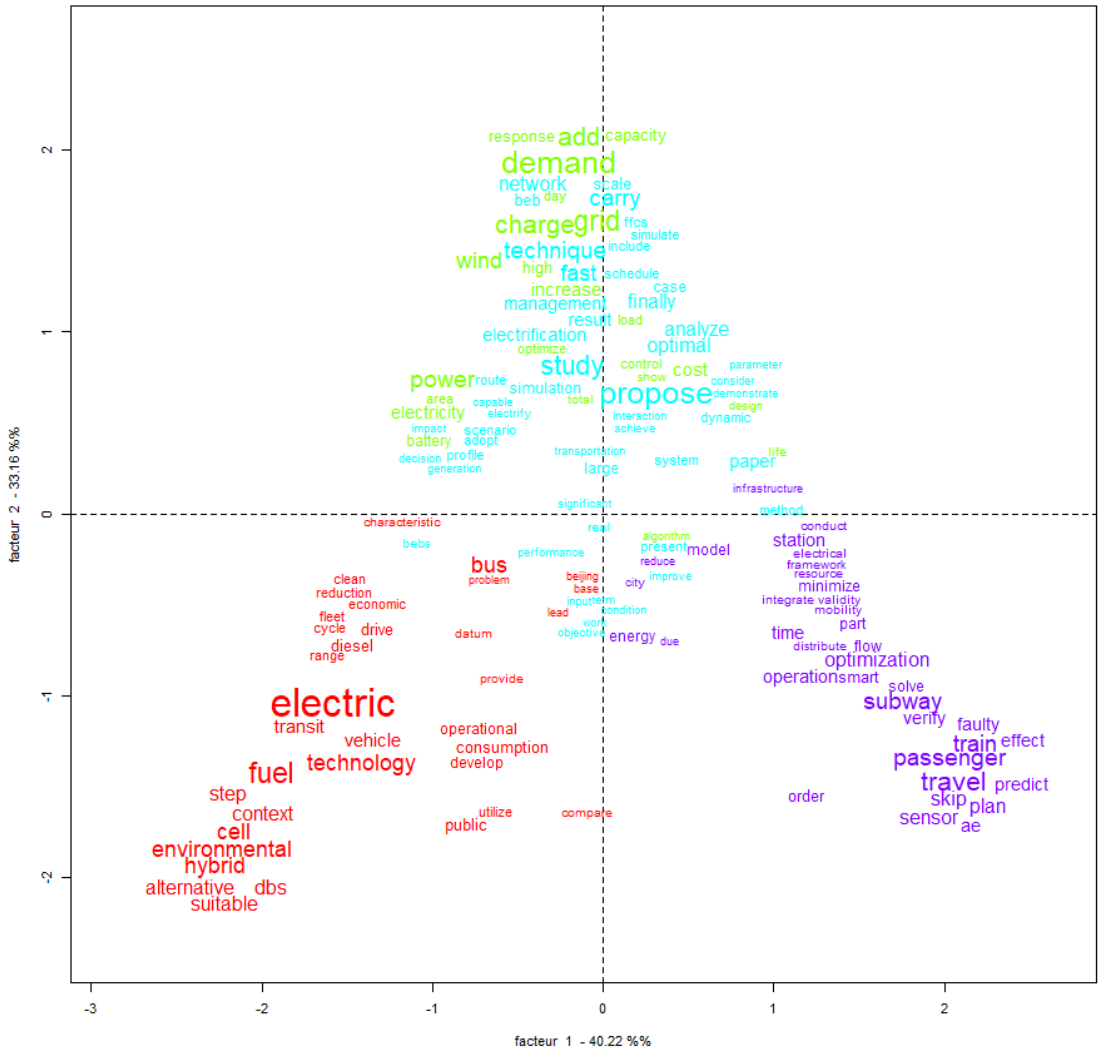


Figure 6. Reinert's Method graph of selected texts on sustainable technologies. Source: Iramuteq (2021).

When building the word cloud from the counting performed by Iramuteq, the following formation can be seen:

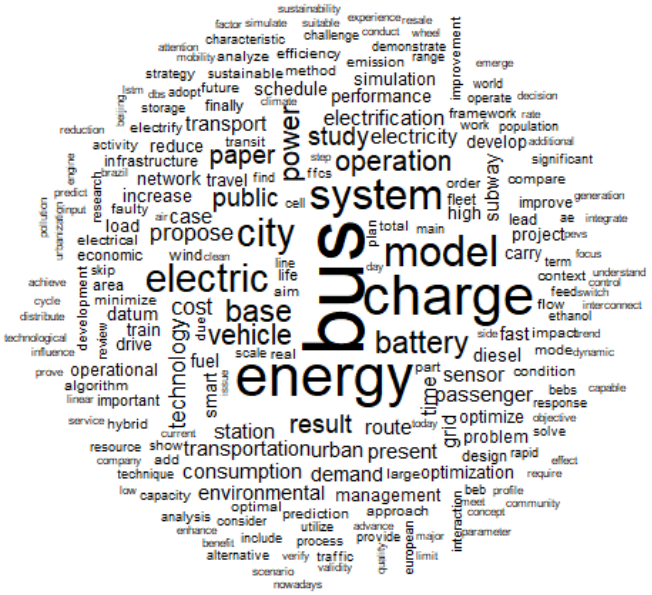


Figure 7. Word cloud of selected texts about sustainable technologies. Source: Iramuteq (2021).

In addition to the mentions already highlighted in this analysis, it is also possible to verify the expressions related to transport systems such as ‘electrification’, ‘diesel’, ‘transport’, ‘sensor’ and ‘optimization’, as well as words usually associated public transportation, such as ‘bus’, ‘charge’ and ‘energy’. The connection of these words results in the so-called ‘similarity analysis’, which represents the similarity between all texts selected for the corpus. The closer they are, the more similar the expressions.

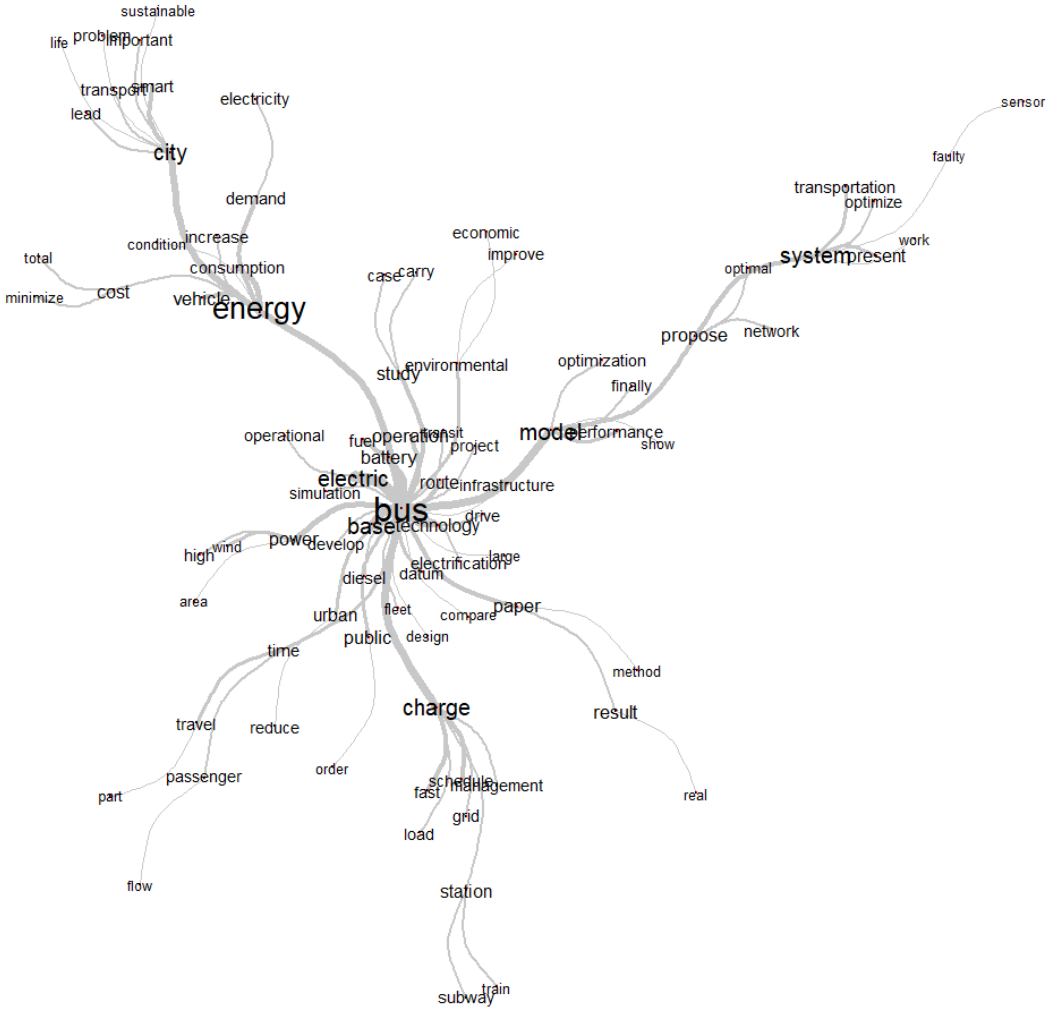


Figure 8. Word tree of texts about sustainable technologies. Source: Iramuteq (2021).

It is possible to verify that the bus transport mode is often associated with words that are most of the times associated with transport system management actions for the use of sustainable technologies focused on current issues in the use of alternative energy sources such as ‘simulation’, ‘electrification’, ‘compare’, ‘reduce’, ‘minimize’, ‘optimization’. In general, it is possible to observe that the terms are (deeply) associated to the construction of intelligent environment context for the transport system, focused on meeting the needs of urban mobility for the population to mitigate the effects of pollution by transport in urban and metropolitan areas. Finally, it’s possible to say that the size of the abstracts texts — five paragraphs on average — do not influence the depth of the vocabulary and the relationship with the methodology of the research, as the quality is in its technological results for the mass transportation system.

5. Final Remarks

The objective of this study was reached by answering that the smart technologies used in the urban mass transport system in smart cities are

technologies that are mentioned in the literature review as technologies to improve the autonomous performance of the bus transport mode. In addition, these technologies focus on capturing vehicle and user data for information processing and decision-making for the creation of intelligent services in public transport, forming smart and sustainable mobility for the mass transport system. Sustainable technologies in the literature review point to the use of a battery-powered bus system in buses and a smart charging grid within the smart city. In this way, there is greater efficiency being generated in operations with less polluting fuels when compared to the consumption of fossil fuels in public transportation. Other alternatives such as full cell and hybrid fuel source are also mentioned and recommended. Electrified modes of transport such as tramways and subway have the public transport system as a systemic set with high connectivity between roads, stations, vehicles and intelligent information systems and rechargeable energy sources. The use of renewable energy sources in the means of transportation raises concerns about sustainable mobility for smart cities through research evidenced by the literature on mass transport modes and their technologies. This concentration of smart and less polluting technologies characterizes the urban mass transport system between the period 2009 to 2020 in smart cities. It also brings the contribution to future research of its link with the fourth industrial revolution, Industry 4.0, and Industry 5.0 in the public transportation. The limitation of this study is the uniform application of these technologies evidenced by the literature review and textual analysis in smart cities that have different economic and social profiles in each country. Thus, any technology mentioned here roughly changes the scenario and the result, as it is influenced by the local need of its citizens and by the amount of investment made in public transportation by each smart city, specifically in this technological grouping.

For future work, it would be interesting to study multiple cases in groups of different smart cities by continents or countries, investigating how their mass transport system is composed and how their smart and sustainable technologies are concentrated in each mode of mass transport such as buses, subways, tramways, or trains.

Acknowledgements

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) Finance Code 001.

References

Akcin, M., Kaygusuz, A., Karabiber, A., Alagoz, S., Alagoz, B. B., & Keles, C. (2016). Opportunities for energy efficiency in smart cities, 4th International Istanbul Smart Grid Congress and Fair (ICSG).

Alavi, A. H., Jiao, P., Buttlar, W. G., & Lajnef, N. (2018). Internet of Things-enabled smart cities: State-of-the-art and future trend, Measurement (Vol. 129, pp. 589–606).

Alawadhi, S., Aldama-Nalda, A., Chourabi, H., Gil-Garcia, J. R., Leung, S., Mellouli, S., & Walker, S. (2012). Building understanding of smart city initiatives", In International conference on electronic government. Springer, Berlin, Heidelberg (pp. 40-53).

Anthopoulos, L., & Fitsilis, P. (2010). From Digital to Ubiquitous Cities: Defining a Common Architecture for Urban Development. 2010 Sixth International Conference on Intelligent Environments (pp. 301–306).

Artieda, L. (2017). Smart Cities for All Digital Inclusion Maturity Model launch: This tool will become the first maturity model targeted specifically at accessibility and inclusion in Smart City programs worldwide. https://smartcities4all.org/20171030_Press_Release_WCD_Draft_XT_v12.php

Belhassen, H., Fresse, V., & Bourennane, E-B. (2019). Comparative Study of Face and Person Detection algorithms: Case Study of tramway in Lyon, International Conference on Advanced Systems and Emergent Technologies (IC_ASET).

Buuse, D., & Kolk. A. (2019). An exploration of smart city approaches by international ICT firms, Technological Forecasting & Social Change (Vol. 142, pp. 220–234).

Caragliu, A & Del Bo, C. F. (2018). Smart innovative cities: The impact of Smart City policies on urban innovation. Technological Forecasting and Social Change (Vol. 142, pp.

373–383).
Clarke, R. Y. (2013). Business Strategy: IDC Government Insights' Smart City Maturity Model — Assessment and Action on the Path to Maturity.
Chen, Z., Khemmar, R., Decoux, B., Atahouet, A & Ertaud, J-Y. (2019). Real Time Object Detection, Tracking, and Distance and Motion Estimation based on Deep Learning: Application to Smart Mobility, Eighth International Conference on Emerging Security Technologies (EST).
Chourabi, H., Nam, T., Walker, S., Gil-Garcia, J.R, Mellouli, S., Nahon, K., Pardo, T., & Scholl, H.J. (2012). Understanding smart cities: an integrative framework. In Anais do XLV Hawaii International Conference on System Sciences, Albany: Center for Technology in Government, (pp. 2289-2297).
Correa, G., Muñoz, P. M., & Rodriguez, C. R. (2019). A comparative energy and environmental analysis of a diesel, hybrid, hydrogen and electric urban bus, Energy (115906).
Cugurullo, F. (2018). The Origin of the Smart City Imaginary: From the Dawn of Modernity to the Eclipse of Reason. In Lindner C. and Meissner M. (Eds) The Routledge Companion to Urban Imaginaries. London: Routledge.
Dirks, S., Gurdgiev, C., & Keelin, M. (2020). Smarter cities for smarter growth. IBM Global Business Services. Executive Report, Government. https://www.zurich.ibm.com/pdf/isl/infoportal/IBV_SC3_report_GBE03348USEN.pdf
Droege, P. (1997). Intelligent Environments - Spatial Aspect of the Information Revolution, Oxford, Elsevier.
Ferguson, M., Mohamed, M., & Maoh, H. (2019). On the Electrification of Canada's Vehicular Fleets: National-scale analysis shows that mindsets matter, IEEE Electrification Magazine (Vol. 7, n. 3, pp. 55–65).
Gabbar, H. A., Othman, A. M., Pino, F., & Repetto, M. (2020). Improved Performance of Flywheel Fast Charging System (FFCS) Using Enhanced Artificial Immune System (EAIS), in IEEE Systems Journal (Vol. 14, n. 1, pp. 824-831).
Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichlermilanovic, N., & Meijers, E. (2007). Smart Cities: Ranking of European Medium-Sized Cities. Vienna, Austria: Centre of Regional Science (SRF), Vienna University of Technology.
Hall, R. E., Bowerman, B., Braverman, J., Taylor, J., Todosow, H. & von Wimmersperg, U. (2000). The vision of a smart city, In Proceedings of the 2nd International Life Extension Technology Workshop, Upton: Brookhaven National Laboratory (pp. 1-16).
Hatuka, T., Rosen-Zvi, I., Birmhack, M., Toch, E., & Zur, H. (2018). The Political Premises of Contemporary Urban Concepts: The Global City, the Sustainable City, the Resilient City, the Creative City, and the Smart City, Planning Theory & Practice (Vol. 19).
He, Y. L., Liu, Z & Song, Z. (2020). Optimal charging scheduling and management for a fast-charging battery electric bus system, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review (Vol. 142).
Holland, S. P., Mansur, E. T., Muller, N. Z., & Yates, A. J. (2021). The environmental benefits of transportation electrification: Urban buses, Energy Policy (Vol. 148, 111921).
Hollands, R. G. (2008). Will the real smart city please stand up? City (Vol. 2, 3, pp. 303–320).
Washburn, D., Sindhu, U., Balaouras, S., Dines, R. A., Hayes, N., & Nelson, L. E. (2010). Helping CIOs Understand "Smart City" Initiatives. Forrester.
ISO. (2019). ISO 37122 Sustainable development in communities - Indicators for Smart Cities. https://www.iso.org/standard/69050.html
Jafari, M., Kavousi-Fard, A., Niknam, T., & Avatefipour, O. (2021). Stochastic synergies of urban transportation system and smart grid in smart cities considering V2G and V2S concepts, Energy (Vol. 215, 119054).
Kadam, J., Patil, P., Kaith, K., Patil, D & Sham. (2018). Developing a Smart Bus for Smart City using IOT Technology, Second International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA).
Kang, L., Sun, H., Wu, J., & Gao, Z. (2020). Last train station-skipping, transfer-accessible and energy-efficient scheduling in subway networks", Energy (206, 11812).
Ke, B-R., Lin, Y-H., Chen, H-Z., & Fang, S.-C. (2020). Battery charging and discharging scheduling with demand response for an electric bus public transportation system, Sustainable Energy Technologies, and Assessments (40, 100741).
Kim, B., Yoo, M., Park, K. C., Lee, K. R., & Kim, J. H. (2021). A value of civic voices for smart city: A big data analysis of civic queries posed by Seoul citizens, Cities (108, 102941).
Komminos, N. (2006). The Architecture of Intelligent Cities. Conference Proceedings Intelligent Environments 06, Institution of Engineering and Technology (pp. 53–61).
Kylili, A., & Fokaides, P.A. (2015). European smart cities: The role of zero energy buildings, Sustainable Cities and Society (Vol. 15, pp. 86–95).

Jang M. L., & Suh, S. (2010). U-City: New Trends of Urban Planning in Korea Based on Pervasive and Ubiquitous Geotechnology and Geoinformation, Springer: Berlin, Heidelberg, Computational Science, and Its Applications – ICCSA (pp. 262-270).
Janik, A., Ryszko, A., & Szafraniec, M. (2020). Scientific landscape of smart and sustainable cities literature: a bibliometric analysis, Sustainability (Switzerland) (Vol. 12, 3).
Lahlou, S. (2012). Text Mining Methods: An answer to Chartier and Meunier. Papers on Social Representations, (Vol. 20, 38, pp. 1.-7).
Lee, J. H., Hancock, M. G., & Hu, M. (2014). Towards an effective framework for building smart cities: Lessons from Seoul and San Francisco, Technological Forecasting and Social Change (Vol. 89, pp. 80–99).
Leem, C. S., & Kim, B. G. (2013). Taxonomy of ubiquitous computing service for city development. Personal and Ubiquitous Computing (Vol. 17, 7, pp. 1475–1483).
Liberto, C., Valenti, G., Orchi, S., Lelli, M., Nigro. M., & Ferrara, M. (2018). The Impact of Electric Mobility Scenarios in Large Urban Areas: The Rome Case Study, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems (pp. 1–10).
Loy-Benitez, J., Li, Q., Nam, K., & Yoo, C. (2020). Sustainable subway indoor air quality monitoring and fault-tolerant ventilation control using a sparse autoencoder-driven sensor self-validation, Sustainable Cities and Society (52, 101847).
Lv, Y., Lv, W., Ren. L., & Ouyang, Q. (2021). Optimizing the bus operation plan Based on Deep Learning, Microprocessors and Microsystems (104042).
Ma, X., Miao, R., Wu, X., & Liu, X. (2021). Examining influential factors on the energy consumption of electric and diesel buses: A data-driven analysis of large-scale public transit network in Beijing, Energy (Vol. 216, pp. 119-196).
Mahmoud, M., Garnett, R., Ferguson, M., & Kanaroglou, P. (2016). Electric buses: A review of alternative powertrains, Renewable and Sustainable Energy Reviews (Vol. 62, pp. 673–684).
Marchand, P.; P. Ratinaud. (2012). L'analyse de similitude appliqueé aux corpus textueles: les primaires socialistes pour l'election présidentielle française. Em: Actes des 11eme Journées internationales d'Analyse statistique des Données Textuelles. JADT 2012, Liège, Belgique (pp. 687–699).
Majumder, S., De, K., Kumar, P., & Rayudu, R. (2019). A Green Public Transportation System Using E-buses: A Technical and Commercial Feasibility study, Sustainable Cities and Society (101789).
Meijeringa, J. V., Kern, K., & Tobi, H. (2014). Identifying the methodological characteristics of European green city rankings.
Meishner, F., Satvat, B., & Sauer, D. U. (2017). Battery Electric Buses in European Cities: Economic Comparison of Different Technological Concepts Based on Actual Demonstrations, IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC).
Monzon, A. (2015). Smart Cities Concept and Challenges - Bases for the Assessment of Smart City Projects, Transport Research Centre, Universidad Politécnica of Madrid, Madrid, Spain.
Mouratidis, K., & Serrano, C. (2021). Autonomous buses: Intentions to use, passenger experiences, and suggestions for improvement, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour (Vol, 76, pp. 321-335).
Muthuselvi, M., Abi, M.A., Arthit, V.A., & Deivanayagi, M. S. (2019). An Intelligent Bus System Based on Internet of Things for Urban International, Journal of Computer Sciences and Engineering Environments (Vol. 7, n. 3, pp. 12-18).
Okoli, C., & Schabram, K. (2010). A Guide to Conducting a Standalone Systematic Literature Review, Communications of the Association for Information Systems (37:43), November 2015, (pp. 879-910). http://aisel.aisnet.org/cais/vol37/iss1/43
Papa, R., Galderisi, A., Majello, M. C. V. & Sarreta, E. (2015). Smart and Resilient Cities: a Systemic Approach for Developing Crossectoral Strategies in the Face of Climate Change. TeMa, Journal of Land Use, Mobility and Environment (pp. 19–49).
Petrolo, R., Loscri, V., & Milton, N. (2014). Towards a Smart City Based on Cloud of Thing, New York, NY, USA: ACM. Proceedings of the 2014 ACM International Workshop on Wireless and Mobile Technologies for Smart Cities (pp. 61–66).
Piao, H., Duan, H., & Zhu, M. (2020). Simulation of Urban Landscape Around Subway Station Based on Machine Learning and Virtual Reality, Microprocessors and Microsystems (103495).
Piazza, G., Bracco, G., Siri, S., & Delfino, F. (2019). Integration of electric mobility services within an existing polygeneration microgrid, IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe), Genova, Italy (pp. 1-6).
Popescu, C. L., & Popescu, M. O. (2013). Life in 2030-brief presentation from the IEEE reviews, 8TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADVANCED TOPICS IN ELECTRICAL ENGINEERING (ATEE).

Python. (2021). www.python.org
Ramaprasad, A., Sánchez-Ortiz, A., & Syn, T. (2017). A unified definition of a smart city, In International Conference on Electronic Government. Springer, Cham (pp. 13-24).
Retscher, G., & Bekenova, A. (2020). Urban Wi-Fi RSSI Analysis along a Public Transport Route for Kinematic Localization, IEEE/ION Position. Location and Navigation Symposium (PLANS).
Savchuk I., & Nahornyi, T. (2020). Tramway as an indicator of the realisation of Smart City concept, E3S Web of Conferences (159, 05013).
Shaikh, M. K., Palaniappan, S., Khodadadi, T., Ali, S. & Ali, F. (2020). Using eBus Services Solution, Book Anywhere to Save Time, International Conference on Information Science and Communication Technology (ICISCT).
Software R (2021). www.r-project.org
Soni, S. R. & Upadhyay, C. D. (2016). Charge management in HSS for E-bus, International Conference on Signal Processing, Communication, Power and Embedded System (SCOPES).
Stechemesser, K., & Guenther, E. (2012). Carbon accounting: a systematic literature review. Journal of Cleaner Production (Vol. 36, ed. 1, pp. 17-38).
Steventon A., & Wright, S. (2006). Intelligent spaces: The application of pervasive ICT, Springer, London.
Sujata, J., Sakasham, S., & Tanvi, G. (2016). Developing Smart Cities: An integrated framework, Procedia Computer Science, Weber, E. P., & Khademian, A. M. Wicked problems (Vol. 93, pp. 902-909).
Tesar, M., Berthold, K., Gruhler, J, P., & Gratzfeld, P. (2020). Design Methodology for the Electrification of Urban Bus Lines with Battery Electric Buses, Transportation Research Procedia (Vol. 48, pp. 2038–2055).
Toru, I & Isbiste, R.K. (2000). Digital cities: technologies, experiences, and future perspectives, Springer. Berlin; New York.
Utsumi, H., Saito, K., Saito, A., Tanaka, K., & Ohmoto, H. E-bus for Akita Prefecture, Japan, World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27).
Velásquez, S. M. S. G., Moreira, J. R., Santos, S. A. & Coelho, S. T. (2011). Project BEST — Bioethanol for Sustainable Transport — And the public policies of encouragement to ethanol usage, International Conference on Electrical and Control Engineering.
Vernard, O., Baudoin. G., & Uzan, G. (2009). Field experimentation of the RAMPE interactive auditive information system for the mobility of blind people in public transport: Final evaluation, 9th International Conference on Intelligent Transport Systems Telecommunications, (ITST).
Utriainem, R., & Pollanen, M. (2018). Review on mobility as a service in scientific publications, Research in Transportation Business & Management (Vol. 27, pp. 15-23).
Yovanof, G.S., & Hazapis, G. N. (2009). An Architectural Framework and Enabling Wireless Technologies for Digital Cities & Intelligent Urban Environments. Wireless Personal Communications (Vol, 49, 3, pp. 445–463).
Wang, Y., Li, J., Han, P., & Han, Y. H. (2013). Modeling and analysis on coordinated scheduling of E-bus recharging station participated wind-power generation, Proceedings of the 32nd Chinese Control Conference, Xi'an (pp. 8592-8596).
Zhang, C. (2017). Research on optimal configuration model of city's bus route electrification, IEEE Conference on Energy Internet, and Energy System Integration (EI2).
Zhang, C., Tao, J., & Cheng, Y. (2017). Research on optimal electrification selection and sequence scheme model of city's bus routes, IEEE Conference on Energy Internet, and Energy System Integration (EI2).

Artigo 3

2.1.3 Composição, concentração e classificação do transporte urbano de massa inteligente e sustentável em quatro cidades inteligentes

Esse artigo foi aceito no periódico internacional “Research, Society and Development”, em novembro de 2021, tendo a publicação no ISSN 2525-3409 (https://rsdjournal.org/index.php/rsd), e segue a formatação desse periódico.

Composição, concentração e classificação do transporte urbano de massa inteligente e sustentável em quatro cidades inteligentes

Composition, concentration and classification of smart and sustainable urban mass transport in four smart cities

Composición, concentración y clasificación del transporte masivo urbano inteligente y sostenible en cuatro ciudades inteligentes

Recebido: 15/09/2021 | Revisado: 25/09/2021 | Aceito: 01/10/2021 | Publicado: 03/10/2021

Luiz Rodrigo Bonette
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9146-764X
Universidade Paulista, Brasil
E-mail: luiz.bonette@aluno.unip.br
João Gilberto Mendes dos Reis
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6409-2299
Universidade Paulista, Brasil
Universidade da Grandes Dourados, Brasil
E-mail: joao.reis@docente.unip.br

Resumo
As cidades inteligentes aperfeiçoam o seu sistema de transporte de massa através da sua oferta diversificada dos seus modos de transporte urbano para o transporte público. Existem opções de tecnologias inteligentes e sustentáveis que podem ser embarcadas e estarem disponíveis para utilização nesse sistema. A composição do sistema de transporte urbano de massa é um serviço público/privado e consorciado ofertado para uma demanda de cidadãos que visa a melhoria da mobilidade urbana. O transporte urbano de massa pode ser classificado partindo do levantamento de dados, tais como: os tipos de modos de transporte de massa existentes, as tecnologias inteligentes disponíveis e as fontes de energia aplicadas para a locomoção. Nesta pesquisa foi aplicado o método de estudo de caso múltiplo do sistema de transporte de massa, com o uso da técnica de triangulação de três bases de dados coletados em 2020. O objetivo deste estudo foi analisar e compreender a composição e a concentração dos sistemas de transporte urbano de massa de quatro cidades inteligentes com perfil metropolitano e classificar essas cidades inteligentes utilizando relatórios e painéis (*dashboard*) com o auxílio do *software Power Business Intelligence* (BI) da Microsoft como ferramenta de análise final. Considera-se que esses sistemas de transporte urbano de massa metropolitanos são construídos historicamente em estágios de evolução tecnológica e são implantados nas cidades inteligentes de acordo com as necessidades de mobilidade urbana das cidades, e podem ser classificados como mais ou menos diversos, mais ou menos tecnológicos e mais ou menos limpos ou poluentes.
Palavras-chave: Transporte de massa; Tecnologias; Cidades inteligentes; Sustentabilidade.

Abstract
Smart cities improve their mass transportation system through their diversified offering of urban modes of transportation for public transport. There are options of smart and sustainable technologies that can be embedded and available to be used in this system. The composition of the urban mass transportation system is a public/private and consortium service offered to a demand from citizens that aims to improve urban mobility. Urban mass transport can be classified based on data such as the types of existing mass transport modes, the smart technologies available, and the energy sources used for locomotion. In this research, the multiple case study method of the mass transportation system was applied, with the use of the triangulation technique of three databases collected in 2020. The aim of this study was to analyze and understand the composition and concentration of urban mass transport systems in four smart cities with metropolitan profile and classify these smart cities using reports and dashboards with the aid of Power Business Intelligence (BI) software from Microsoft as the

ultimate analysis tool. It is considered that these metropolitan urban mass transportation systems are historically built-in stages of technological evolution and are deployed in smart cities according to the urban mobility needs of the cities, and can be classified as more or less diverse, more or less technological, and more or less clean or polluting.
Keywords: Mass transport; Technologies; Smart cities; Sustainability.

Resumen
Las ciudades inteligentes mejoran su sistema de transporte masivo a través de su oferta diversificada de modos de transporte urbano para el transporte público. Hay opciones de tecnologías inteligentes y sostenibles que pueden integrarse y estar disponibles para su uso en este sistema. La composición del sistema de transporte urbano de masas es un servicio público/privado y consorciado que se ofrece a una demanda de los ciudadanos con el objetivo de mejorar la movilidad urbana. A el transporte masivo urbano puede clasificarse en función de la recogida de datos, tales como los tipos de modos de transporte masivo existentes, las tecnologías inteligentes disponibles y las fuentes de energía aplicadas para la locomoción. En esta investigación se aplicó el método de estudio de casos múltiples del sistema de transporte masivo, utilizando la técnica de triangulación de tres bases de datos recolectadas en 2020. El objetivo de este estudio fue analizar y comprender la composición y concentración de los sistemas de transporte masivo urbano en cuatro ciudades inteligentes con perfil metropolitano y clasificar estas ciudades mediante informes y cuadros de mando con la ayuda del software Power Business Intelligence (BI) de Microsoft como herramienta de análisis final. Se considera que estos sistemas metropolitanos de transporte urbano masivo se construyen históricamente en etapas de evolución tecnológica y se despliegan en las ciudades inteligentes según las necesidades de movilidad urbana de las ciudades, pudiendo clasificarse como más o menos diversos, más o menos tecnológicos y más o menos limpios o contaminantes.
Palabras clave: Transporte masivo; Tecnologías; Ciudades inteligentes; Sostenibilidad.

1. Introdução

Uma cidade sustentável inteligente é aquela que dispõe da tecnologia da informação e de outras ferramentas a fim de aprimorar a qualidade de vida e dos serviços, protegendo as necessidades dos cidadãos e considerando a atuação econômica, social, ambiental e cultural (Akande, Cabral, Gomes & Casteleyn, 2019). As cidades classificadas como inteligentes apresentam sistemas de transporte, soluções básicas de infraestrutura e soluções de serviços inteligentes orientados para as Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) (Kumar *et al.*, 2019). Podem ser citadas como TICs no transporte público, por exemplo, os sistemas de informação de passageiros em tempo real, sistemas de notificação de chegada de ônibus, sistemas automáticos de localização de veículos e sistemas de prioridade de sinal de trânsito para a aplicação no transporte público (Erkollari & Oberer, 2018).

Outro aspecto importante das cidades inteligentes é a sustentabilidade. As tecnologias sustentáveis no transporte público são a preocupação com as metas para a eliminação de veículos movidos por combustíveis fósseis e para a transição de fontes de energia alternativas e sustentáveis como a elétrica (*International Energy Agency* – IEA, 2020). Em diversos países, a transição para os ônibus elétricos no transporte público já é desenvolvida amplamente por metas e protocolos de sustentabilidade adotados por políticas públicas, e abordando ativamente os desafios do desenvolvimento sustentável em áreas urbanas (Burch & Gilchrist, 2018). As megacidades estão comprometidas em colaborar com eficácia, compartilhando o conhecimento e promovendo ações mensuráveis e sustentáveis sobre as mudanças climáticas no transporte público (C40 CITIES, 2021).

O problema do presente estudo ressalta a importância de mapear e classificar as tecnologias

disponíveis embarcadas ou não no sistema de transporte urbano como ônibus, Veículo Leve sobre Trilhos - VLT (*tramway*), metrôs e trens e outras possibilidades de modos de transportes coletivos necessários as cidades inteligentes. Essa classificação é importante para determinar quais cidades inteligentes utilizam as Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) no transporte de passageiros de massa. A maior concentração de tecnologias em uma cidade pode facilitar o fluxo da mobilidade urbana. Assim é importante saber como classificar as tecnologias para atender as demandas do transporte público de massa.

O objetivo deste artigo é classificar os sistemas de transporte urbano de massa como inteligentes e sustentáveis em cidades inteligentes, que visam o uso de TICs e a redução dos impactos ambientais em áreas urbanas por fontes energia renováveis ou não renováveis em combustíveis utilizados.

A metodologia utilizada é de abordagem qualitativa, de método indutivo e tipo exploratório, utilizando o método de estudo de caso múltiplo de quatros cidades, sendo duas do continente europeu, Madri (Espanha) e Paris (França), e duas do continente sul-americano São Paulo (Brasil) e Buenos Aires (Argentina).

A escolha se deve às cidades terem perfil urbano e metropolitano, com alta concentração de tecnologias e diversidade dos seus modos de transportes. O método de cruzamento de base de dados por triangulação foi aplicado para entender a composição desses sistemas de transporte.

Este artigo é dividido nas seguintes seções: introdução e revisão da literatura, materiais e métodos, resultado e discussão do estudo de caso múltiplo dos sistemas de transporte urbano de massa inteligente e sustentável e revisão da literatura e finalizando com a seção de considerações finais.

2. Materiais e Métodos

A pesquisa traz o método de estudo de caso múltiplo com base na formação de evidências (Yin, 2014). Utilizou-se a técnica convergente de triangulação para a validação dos dados coletados (Denzin & Lincoln, 2000), conforme Figura 1.

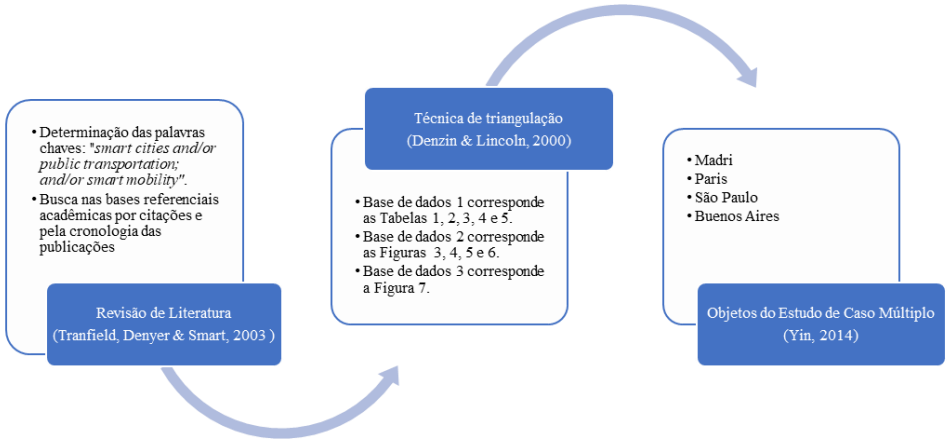


Figura 1. Processo Metodológico do Estudo de Caso Múltiplo com a Técnica de Triangulação de Dados**.**

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

As seguintes etapas foram adotadas para a presente pesquisa:

(1) Realizou-se uma revisão de literatura utilizando as palavras-chaves em inglês: "*smart cities and/or technologies and/or public transportation and/or mobility*". As bases referenciadas consultadas foram: Science Direct, Emerald, IEEE XPLORE e DOAJ. Neste caso o método de revisão de literatura dá suporte ao método principal do estudo de caso múltiplo.

(2) As informações sobre o transporte público de massa para construção das três bases de dados foram coletadas dos websites das prefeituras, secretarias de economia, transporte e mobilidade, turismo e infraestrutura, e das empresas consorciadas em transporte público das quatro cidades pesquisadas, tendo sido os dados, portanto, coletados de formas diferentes para a triangulação da pesquisa (Flick, 1992). Os dados coletados na primeira base de dados trazem as informações econômicas, socioeconômicas, *ranking* das cidades inteligentes e a composição dos sistemas de transporte urbano de massa das quatro cidades. Na segunda base de dados compila-se e descreve-se a concentração dos modos de transporte público de massa, tecnologias e fontes de energia. Da terceira base de dados extraem-se as evidências para a proposta de "Classificação de classificação do sistema de transporte urbano de massa inteligente e sustentável em cidades inteligentes" (ver Figura 7).

(3) Cada cidade foi analisada e recebeu a palavra S, quando o dado coletado na investigação de triangulação estava presente; "N", quando o dado coletado na investigação de triangulação não estava presente, o que significa que o modo de transporte, a tecnologia ou fonte de energia não está disponível; e "NE" quando não foi encontrada informação sobre o dado coletado. Um asterisco "*" foi colocado quando constatada a ausência do modo de transporte de massa na investigação de triangulação; "NR" foi colocado para fonte de energia Não Renovável, e "R" para fonte de energia Renovável para o saldo de finalização da coleta de "Fontes de energia".

(4) Os dados dos modos de transporte e tecnologias inteligentes e sustentáveis foram transferidos para a criação dos painéis pelo *software dashboard Power Business Intelligence* (BI) da Microsoft, cujos resultados estão nas Figuras 3, 4, 5 e 6, que descrevem a concentração das tecnologias em cada modo de transporte de massa de cada cidade inteligente. Na Figura 7, são demonstrados os resultados para classificação das cidades inteligentes por volumes de tecnologias inteligentes e sustentáveis nos transportes de massa.

3. Resultados e Discussão

3.1 Estudo de Caso Múltiplo do Transporte de Massa em Cidades Inteligentes

Incialmente, nesta seção, são abordados os resultados das coletas dos dados para formação das bases de dados 1 e 2 de triangulação dos dados extraídos dos websites das prefeituras, das secretarias de transporte ou mobilidade urbana e das empresas consorciadas, nos quais geralmente são localizadas as informações econômicas, socioeconômicas e de transporte.

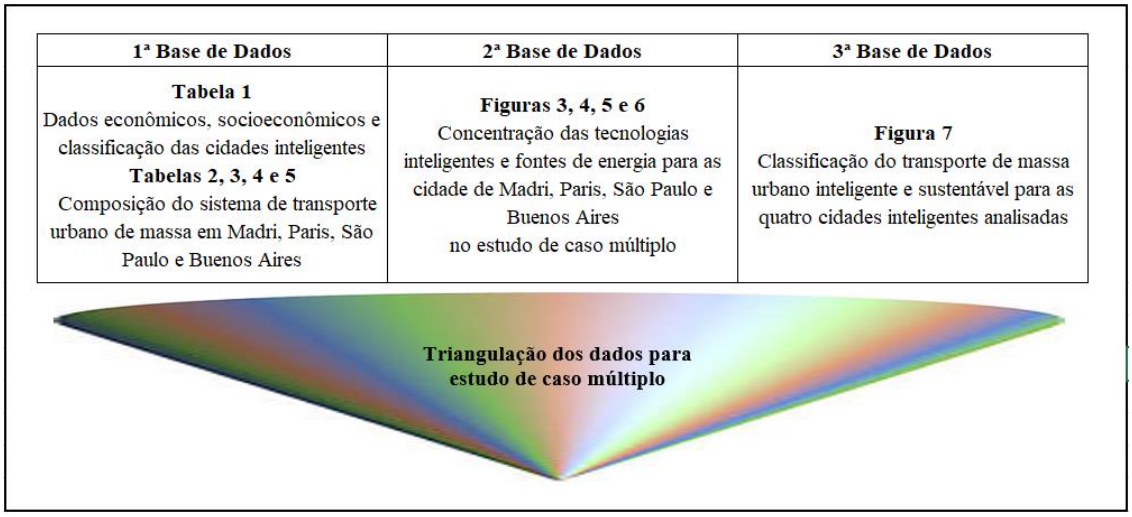
Tabela 1. Dados Econômicos, Socioeconômicos e Ranking das Cidades Inteligentes.

N	Cidade	População Urbana	População Metropolitana	Densidade Populacional Média	IDH	PIB da Cidade (Bilhões U$)	*Ranking* por Cidade Inteligente
1	Madri	3.266.126	6.791.667	5.208,6	0,992	308	71.42
2	Paris	2.148.271	12.628.266	20.807	0,872	564	85.50
3	São Paulo	12.252.023	21.571.281	13.024,56	0,805	388	45.01
4	Buenos Aires	2.891.082	15.594.428	14.307,68	0,885	362	54.71

Fonte: Portal web del Ayuntamiento de Madri (2020); Paris (2020); Prefeitura de São Paulo (2020); Buenos Aires Ciudad BA (2020); Country Economy (2020); IESE (2020); PricewaterhouseCoopers (2020).

A organização do fluxo da pesquisa aplicado à seção 2 de “Resultados e Discussões” é vista na Figura 2, a seguir:

Figura 2. Estrutura de Triangulação do Banco de Dados para os Estudos de Caso Múltiplos.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

3.1.1 Caracterização Estudo de Caso 1 (Cidade Inteligente de Madri)

Madri é a maior economia da Espanha e a quarta a nível europeu, tendo como base o setor de serviços como os financeiros, o comércio e o turismo (Portal web del Ayuntamiento de Madrid, 2020). Geograficamente, está localizada na região central da Espanha, distante dos portos espanhóis. Estrategicamente, sua localização central auxilia a capilaridade das redes de transporte rodoviário, ferroviário e aeroviários de todo o país (Instituto Nacional de Estadística, 2020).

Sua região metropolitana com 6.791.667 habitantes (Tabela 1) abrange aos municípios de Alcorcón, Alcobendas, Coslada, Fuenlabrada, Getafe, Leganés, Móstoles, San Sebastián de los Reyes, San Fernando de Henares e Torrejón de Ardoz, que se tornam cidades-dormitório, compreendendo dez municípios limítrofes (Portal web del Ayuntamiento de Madrid, 2020).

O sistema de transporte público de transporte de massa de Madri possui sistemas de metrô, trem, ônibus urbano e interurbano, em que é explorada a concessão do transporte público/privado. O transporte público de Madri é gerenciado pelo “Consorcio Regional de Transporte Regulares de Madrid”

(Consórcio Regional de Transporte de Madrid, 2020). O sistema de bilhetagem para o transporte público de massa é composto por vários tipos de bilhetes como (Movilidad y Transportes, 2020):

- Bilhete: utilizado para uma única viagem, sendo adquirido na mesma estação ou meio que pretende realizar. Em alguns serviços, como o trem de passageiros, podem ser adquiridos bilhetes de ida e volta.
- Bilhete Metrobús: é um bilhete válido tanto para a rede de metrô e rede de ônibus, permitindo a realização de um total de 10 viagens dentro da zona de transporte de Madri.
- Bilhete Abono transporte: é um bilhete de transporte válido para as redes de metrô, passageiros e ônibus urbanos ou interurbanos, permite a realização de um número ilimitado de viagens durante o seu período de validade, seja mensal ou anual, possuindo três modalidades (jovem, normal e terceira idade).
- Bilhete Abono turístico: bilhete válido entre um e sete dias, podendo incluir duas zonas: zona A, que é igual ao passe de transporte; e a zona T, que inclui todos eles. Suas taxas variam de acordo com a idade, definida entre normal (a partir dos 12 anos) e infantil (até 11 anos).

A Tabela 2 apresenta as tecnologias empregadas no transporte coletivo de transporte urbano de massa em Madri.

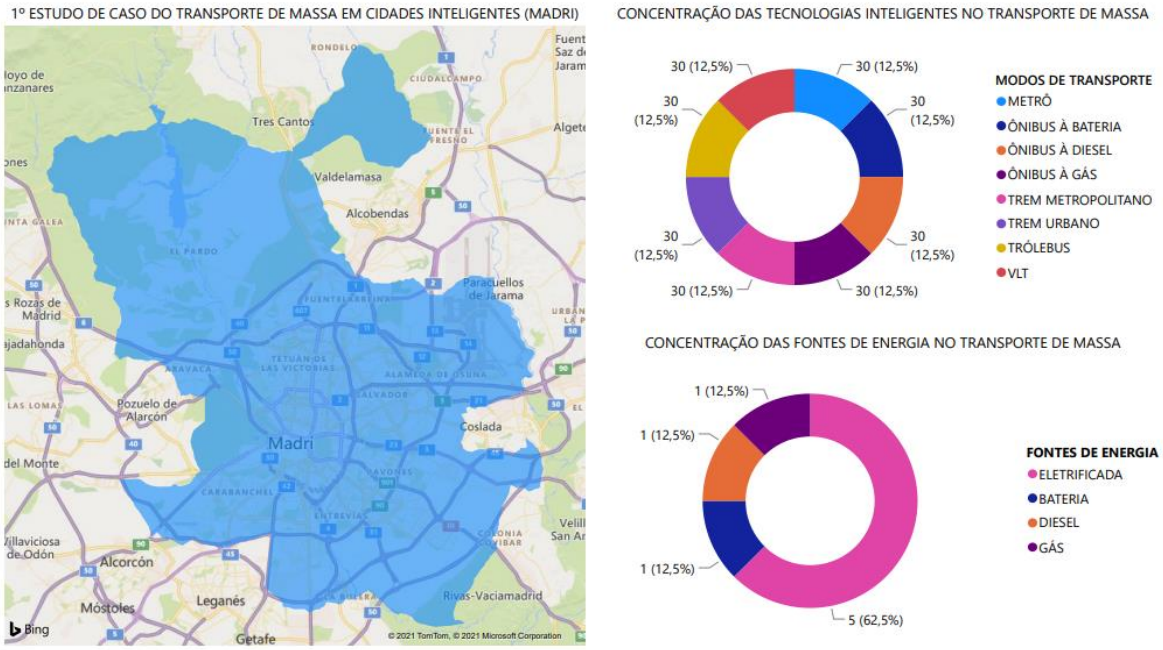
Tabela 2. Composição do Sistema de Transporte Urbano de Massa de Madri.

Madri	Modos de Transporte Coletivo Público e Urbano de Massa							
Tecnologia	Ônibus a Diesel	Ônibus a Gás	Ônibus a Bateria	Trólebus	VLT	Metrô	Trem Urbano	Trem Suburbano
ITS	S	S	S	S	S	S	S	S
Ar condicionado	S	S	S	S	S	S	S	S
Internet 4G-usuário	S	S	S	S	S	S	S	S
Internet 5G-usuário	S	S	S	S	S	S	S	S
Painéis de Informação de horários e rotas	S	S	S	S	S	S	S	S
Aplicativos-usuário	S	S	S	S	S	S	S	S
Registrador Mecânico de passageiros	N	N	N	N	N	N	N	N
Registrador Eletrônico de embarques e desembarques	S	S	S	S	S	S	S	S
Emissor de comprovante de pagamento	S	S	S	S	S	S	S	S
Bilhete magnético	S	S	S	S	S	S	S	S
Cartão inteligente	S	S	S	S	S	S	S	S
Rádio Comunicador	S	S	S	S	S	S	S	S
Identificador de Coletivos	S	S	S	S	S	S	S	S
Registrador de passagem	S	S	S	S	S	S	S	S
Registrador de coletivos por satélite	S	S	S	S	S	S	S	S
Registrador do comportamento do condutor e do veículo	S	S	S	S	S	S	S	S
Registrador de Viagens	S	S	S	S	S	S	S	S
Sinalização Braile	S	S	S	S	S	S	S	S
Biometria Facial	S	S	S	S	S	S	S	S
Comunicador-usuário	S	S	S	S	S	S	S	S
Acionador de semáforo	N	N	N	N	N	N	N	N
Vigiador de vias e interior	S	S	S	S	S	S	S	S
Global Positioning System (GPS)	S	S	S	S	S	S	S	S
Big Data	S	S	S	S	S	S	S	S
Data Mining	S	S	S	S	S	S	S	S
Cloud Computing	S	S	S	S	S	S	S	S
Internet das Coisas	S	S	S	S	S	S	S	S
Internet dos Serviços	S	S	S	S	S	S	S	S
Crowdsourcing	S	S	S	S	S	S	S	S
Blockchain	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Segurança Cibernética	S	S	S	S	S	S	S	S
Sistemas integrados	S	S	S	S	S	S	S	S
Sanitização	S	S	S	S	S	S	S	S
Total de Tecnologias	30	30	30	30	30	30	30	30
Tipos de Energia	Diesel	Gas	Bateria	Elétrica	Elétrica	Elétrica	Elétrica	Elétrica
Fontes de Energia	NR	R	R	R	R	R	R	R

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Na Figura 3 é apresentada a concentração das tecnologias e fontes de energia empregadas no transporte coletivo de transporte urbano de massa de Madri.

Figura 3. Concentração de Tecnologias Inteligentes e Fontes de Energia para o Transporte de Massa da Cidade De Madri.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Pode-se observar na Figura 3 que a concentração das tecnologias inteligentes no transporte de massa está equilibrada em quantidade e percentuais nos modos de transporte, de forma que se torna uma estratégia para melhorar a comunicação das tecnologias na mobilidade urbana da cidade inteligente de Madri. Sobre a concentração das fontes de energia no transporte de massa, o uso maior ocorre em energias renováveis buscando a sustentabilidade através da redução da poluição atmosférica e sonora nas cidades inteligentes. Madri tem como meta a redução gradual ou a proibição de todos os tipos de veículos a diesel a partir de 2025 e tem como “poderes fortes” da prefeitura a definição e aplicação das políticas no transporte público e como “poderes parciais” o controle orçamentário e de receita e visão definida no transporte público (C40 CITIES, 2021).

A vulnerabilidade do seu sistema de transporte de massa está na adesão da fonte de energia elétrica para ônibus. Suas tecnologias inteligentes e fontes de energia de transporte de massa são similares às da cidade inteligente de Paris.

3.1.2 Caracterização Estudo de Caso 2 (Cidade Inteligente de Paris)

Paris é a maior economia da França tendo como base o setor de lazer e turismo, de serviços (educação) e o comércio. Geograficamente, está localizada na região norte da França, distante dos portos franceses. Estrategicamente sua localização central auxilia a capilaridade das redes de transporte rodoviário, ferroviário e aeroviários de todo o país, e também, do Reino Unido e dos Países

Baixos (Holanda, Bélgica e Luxemburgo) (Paris, 2020).

Sua região metropolitana, com 12.628.266 habitantes (Tabela 1) compreende os estabelecimentos públicos territoriais de *Vallée Sud Grand Paris* (VSGP), *Grand Paris Seine Ouest* (GPSO), *Paris Ouest La Défense* (POLD), *Boucle Nord de Seine* (BNS), *Plaine Commune* (PC), *Paris Terres d'Envol* (PTE), *Est Ensemble* (EE), *Grand Paris - Grand Est* (GPGE), *Paris-Est-Marne et Bois* (PEMB), *Grand Paris Sud Est Avenir* (GPSEA0 e *Grand-Orly Seine Bièvre* (GOSB), que se tornam cidades-dormitório, tendo dez municípios limítrofes (Paris, 2020).

O sistema de transporte público de massa de Paris possui o metrô, o VLT, o trem, o ônibus urbano e interurbano. Esse sistema é gerenciado pelo conjunto das seguintes empresas consorciadas: *Métro de Paris,* para o sistema de metrô; *Réseau Express Régional d'Île-de-France* (RER), para o sistema de trem urbano; *Tramway d'Île-de-France,* para o sistema de VLTs; *Transilien,* para o sistema de trem metropolitano, *Réseau de bus* (RATP) e *Autobus d'Île-de-France,* para o sistema de linhas de ônibus de Paris para os subúrbios: *Île-de-France Mobilités* que organiza os serviços de transporte público regular de passageiros, à procura e escolar, serviços de compartilhamento de bicicletas *self-service e a Grand Paris Express* que é uma de rede de metrô composta por quatro linhas automáticas em torno de Paris e duas extensões de linhas (*Plan* Paris 360º, 2020).

O sistema de bilhetagem para o transporte público de massa é composto por vários tipos de bilhetes como:

- **t+ Ticket:** bilhetagem básica, em que o valor é acrescido conforme a zona de desembarque pela empresa RATP, geralmente a cartela mais utilizada é de 10 passes.
- **Travel Pass:** é um bilhete para o turista pode ser adquirido com validade de 1 a 5 dias e disponibiliza viagens ilimitadas dentro das zonas compradas de 1 a 3 (região central) e 1 a 5 (subúrbios, aeroporto e Disney).
- **Navigo Découverte:** é um bilhete que oferece viagens ilimitadas e intermodais pelo sistema de transporte público.

A Tabela 3 apresenta as tecnologias empregadas no transporte coletivo de transporte urbano de massa em Paris.

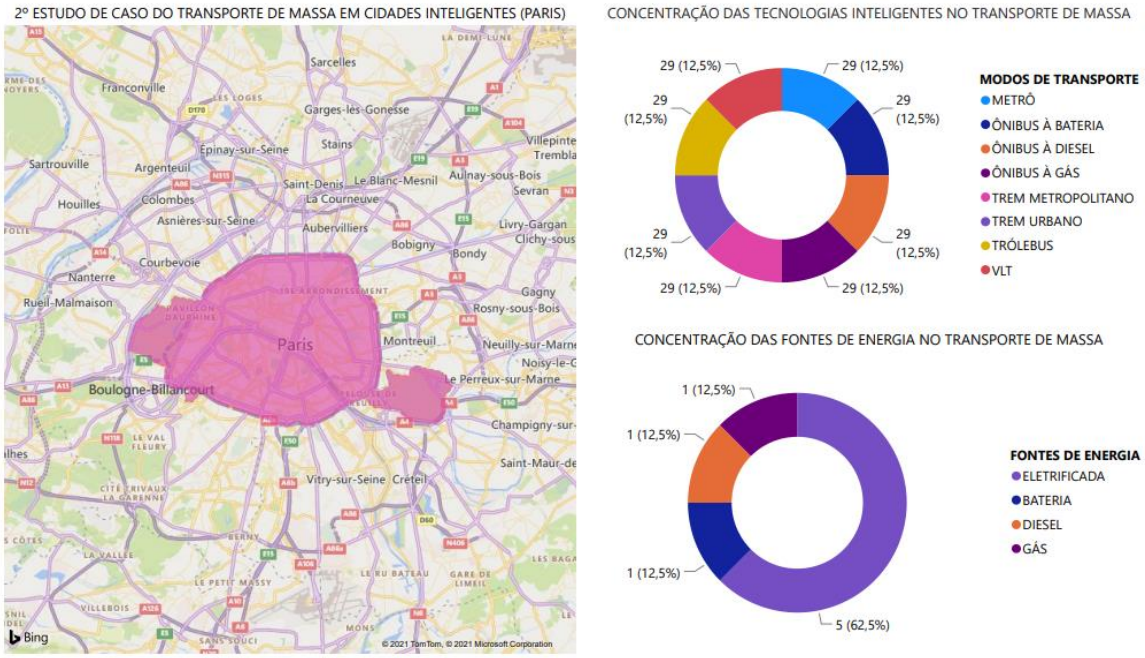
Tabela 3. Composição do Sistema de Transporte Urbano de Massa de Paris.

Paris	Modos de Transporte Coletivo Público e Urbano de Massa							
Tecnologia	Ônibus a Diesel	Ônibus a Gás	Ônibus a Bateria	Trólebus	VLT	Metrô	Trem Urbano	Trem Suburbano
ITS	S	S	S	S	S	S	S	S
Ar condicionado	S	S	S	S	S	S	S	S
Internet 4G-usuário	S	S	S	S	S	S	S	S
Internet 5G-usuário	S	S	S	S	S	S	S	S
Painéis de Informação de horários e rotas	S	S	S	S	S	S	S	S
Aplicativos-usuário	S	S	S	S	S	S	S	S
Registrador Mecânico de passageiros	N	N	N	N	N	N	N	N
Registrador Eletrônico de embarques e desembarques	S	S	S	S	S	S	S	S
Emissor de comprovante de pagamento	S	S	S	S	S	S	S	S
Bilhete magnético	S	S	S	S	S	S	S	S
Cartão inteligente	S	S	S	S	S	S	S	S
Rádio Comunicador	N	N	N	N	N	N	N	N
Identificador de Coletivos	S	S	S	S	S	S	S	S
Registrador de passagem	S	S	S	S	S	S	S	S
Registrador de coletivos por satélite	S	S	S	S	S	S	S	S
Registrador do comportamento do condutor e do veículo	S	S	S	S	S	S	S	S
Registrador de Viagens	S	S	S	S	S	S	S	S
Sinalização Braile	S	S	S	S	S	S	S	S
Biometria Facial	S	S	S	S	S	S	S	S
Comunicador-usuário	S	S	S	S	S	S	S	S
Acionador de semáforo	N	N	N	N	N	N	N	N
Vigiador de vias e interior	S	S	S	S	S	S	S	S
Global Positioning System (GPS)	S	S	S	S	S	S	S	S
Big Data	S	S	S	S	S	S	S	S
Data Mining	S	S	S	S	S	S	S	S
Cloud Computing	S	S	S	S	S	S	S	S
Internet das Coisas	S	S	S	S	S	S	S	S
Internet dos Serviços	S	S	S	S	S	S	S	S
Crowdsourcing	S	S	S	S	S	S	S	S
Blockchain	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Segurança Cibernética	S	S	S	S	S	S	S	S
Sistemas integrados	S	S	S	S	S	S	S	S
Sanitização	S	S	S	S	S	S	S	S
Total de Tecnologias	29	29	29	29	29	29	29	29
Tipos de Energia	Diesel	Gas	Bateria	Elétrica	Elétrica	Elétrica	Elétrica	Elétrica
Fontes de energia	NR	R	R	R	R	R	R	R

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Na Figura 4 é apresentada a concentração das tecnologias e fontes de energia empregadas no transporte coletivo de transporte urbano de massa de Paris.

Figura 4. Concentração de Tecnologias Inteligentes e Fontes de Energia para o Transporte de Massa da Cidade de Paris.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Pode-se observar na Figura 4 que a concentração das tecnologias inteligentes no transporte de massa está equilibrada em quantidade e percentuais nos modos de transporte. Dessa forma, torna-se uma estratégia para melhorar a comunicação das tecnologias na mobilidade urbana da cidade inteligente de Paris. Sobre a concentração das fontes de energia no transporte de massa, é feito maior uso de energias renováveis, buscando a sustentabilidade através da redução da poluição atmosférica e sonora nas cidades inteligentes. Paris tem como meta a redução gradual ou a proibição de todos os tipos de veículos a diesel a partir de 2025. A cidade tem como “poderes parciais” da prefeitura a operação, a definição e aplicação das políticas de transporte público e como poderes limitados o controle orçamentário e de receita e visão definida no transporte público (C40 CITIES, 2021).

A vulnerabilidade do seu sistema de transporte de massa está na adesão da fonte de energia elétrica para ônibus. Suas tecnologias inteligentes e fontes de energia de transporte de massa são similares às da cidade inteligente de Madri.

3.1.3 Caracterização Estudo de Caso 3 (Cidade Inteligente de São Paulo)

São Paulo é a maior cidade brasileira, e a maior a nível sul-americano. A atividade econômica tem como base o setor de serviços, o comércio e a indústria. Geograficamente está localizada na região sudeste do Brasil, próxima do maior porto brasileiro, localizado na cidade de Santos (Porto de Santos) (Prefeitura de São Paulo, 2020). Estrategicamente sua localização auxilia a capilaridade das redes de

transporte rodoviário, ferroviário e aeroviários de todo o país. Sua região metropolitana tem 21.571.281 habitantes (ver Tabela 1) (Prefeitura de São Paulo, 2020).

Os municípios de Guarulhos, Itaquaquecetuba, Poá, Ferraz de Vasconcelos, Mauá, Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, Diadema, São Vicente, Mongaguá, Itanhaém, Embu-Guaçu, Itapecerica da Serra, Embu, Taboão de Serra, Cotia, Osasco, Barueri, Santana do Parnaíba, Cajamar, Caieiras e Mairiporã que se tornam cidades-dormitório, compreendendo vinte e três municípios limítrofes (Prefeitura de São Paulo, 2020).

O sistema de transporte público de massa de São Paulo possui o metrô, o monotrilho, o trem, o ônibus urbano e interurbano, o micro-ônibus e as vans, e tem explorada a concessão do transporte público/privado. O sistema de transporte público de São Paulo é gerenciado pelo conjunto das seguintes empresas consorciadas: Companhia do Metropolitano de São Paulo (Metrô de São Paulo), para o sistema de metrô e do monotrilho; Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM), para o sistema de trens urbanos e metropolitanos; Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo (EMTU/SP), para o sistema de linhas de ônibus, micro-ônibus de São Paulo para metropolitanos; SPTrans, para o sistema de linhas de ônibus dos subúrbios do município e as Cooperativas de micro-ônibus e vans, que organiza os serviços de transporte público regular de passageiros, à procura e escolar.

O sistema de bilhetagem para o transporte público de massa é composto por vários tipos de bilhetes como:

- **Bilhete único:** cartão para a compra de crédito Comum, Estudante e Vale-Transporte, para uso nos ônibus, micro-ônibus e trens do Metrô e da CPTM.
- **Bilhete comum:** é utilizado nos ônibus, micro-ônibus, metrôs e trens.
- **Bilhete estudante/professor:** é utilizado nos ônibus municipais, metrôs e trens.
- **Bilhete especial:** para uso de pessoas idosas, com deficiência, obesas e gestantes.

A Tabela 4 apresenta as tecnologias empregadas no transporte coletivo de transporte urbano de massa em São Paulo.

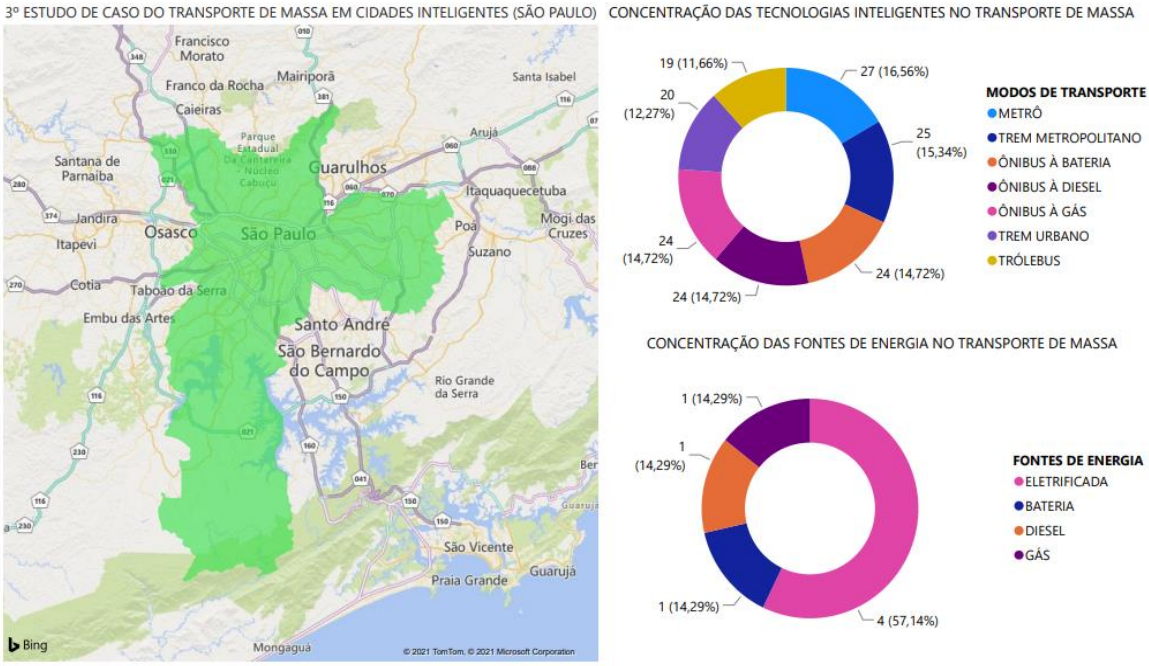
Tabela 4. Composição do Sistema de Transporte Urbano de Massa de São Paulo.

São Paulo	Modos de Transporte Coletivo Público e Urbano de Massa							
Tecnologia	Ônibus a Diesel	Ônibus a Gás	Ônibus a Bateria	Trólebus	VLT	Metrô	Trem Urbano	Trem Suburbano
ITS	S	S	S	S	*	S	S	S
Ar condicionado	S	S	S	S		S	S	S
Internet 4G-usuário	N	N	N	N	*	N	N	N
Internet 5G-usuário	N	N	N	N	*	N	N	N
Painéis de Informação de horários e rotas	S	S	S	S	*	S	S	S
Aplicativos-usuário	S	S	S	S	*	S	S	S
Registrador Mecânico de passageiros	S	S	S	S	*	S	S	S
Registrador Eletrônico de embarques e desembarques	N	N	N	N	*	N	N	N
Emissor de comprovante de pagamento	S	S	S	S	*	S	S	S
Bilhete magnético	S	S	S	S	*	S	S	S
Cartão inteligente	N	N	N	N	*	N	N	N
Rádio Comunicador	S	S	S	S	*	S	S	S
Identificador de Coletivos	S	S	S	S	*	S	S	S
Registrador de passagem	S	S	S	S	*	S	S	S
Registrador de coletivos por satélite	S	S	S	S	*	S	S	S
Registrador do comportamento do condutor e do veículo	S	S	S	S	*	S	S	S
Registrador de Viagens	S	S	S	S	*	S	S	S
Sinalização Braile	S	S	S	S	*	S	S	S
Biometria Facial	S	S	S	S	*	S	S	S
Comunicador-usuário	N	N	N	N	*	N	N	N
Acionador de semáforo	S	S	S	S	*	S	S	S
Vigiador de vias e interior	S	S	S	S	*	S	S	S
Global Positioning System (GPS)	S	S	S	S	*	S	S	S
Big Data	S	S	S	N	*	S	S	S
Data Mining	N	N	N	N	*	S	N	N
Cloud Computing	N	N	N	N	*	S	S	S
Internet das Coisas	S	S	S	N	*	S	N	N
Internet dos Serviços	S	S	S	N	*	S	N	N
Crowdsourcing	N	N	N	N	*	S	N	N
Blockchain	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Segurança Cibernética	S	S	S	N	*	S	S	S
Sistemas integrados	S	S	S	N	*	S	S	S
Sanitização	S	S	S	S	*	S	S	S
Total de Tecnologias	24	24	24	19	*	27	20	25
Tipos de Energia	Diesel	Gas	Bateria	Elétrica	*	Elétrica	Elétrica	Elétrica
Fontes de energia	NR	R	R	R	*	R	R	R

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Na Figura 5 é apresentada a concentração das tecnologias e fontes de energia empregadas no transporte coletivo de transporte urbano de massa de São Paulo.

Figura 5. Concentração de Tecnologias Inteligentes e Fontes de Energia para o Transporte de Massa da Cidade de São Paulo.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Pode-se observar na Figura 5 que a concentração das tecnologias inteligentes no transporte de massa está desequilibrada em quantidade e percentuais nos modos de transporte. O modo de transporte de massa “metrô” concentra o maior número de tecnologias inteligentes, de forma que é importante que haja políticas de equidade tecnológica para se alcançar a distribuição das tecnologias de maneira mais uniforme entre todos os modos de transporte urbano levantados, melhorando o fluxo da mobilidade inteligente da cidade inteligente de São Paulo. Sobre a concentração das fontes de energia no transporte de massa, conforme se vê na Figura 4, há o uso maior de energias renováveis buscando a sustentabilidade através da redução da poluição atmosférica e sonora nas cidades inteligentes. São Paulo tem como meta a redução gradual ou a proibição de todos os tipos de veículos a diesel a partir de 2025 tem como “poderes parciais” da prefeitura a operação, a definição e aplicação das políticas, o controle orçamentário e de receita e visão definida no transporte público (C40 CITIES, 2021).

A vulnerabilidade do seu sistema de transporte de massa está na adesão da fonte de energia elétrica para ônibus e a falta de um sistema de Veículos Leve Sobre os Trilhos (VLT) e na adesão da fonte de energia elétrica para ônibus. Suas tecnologias inteligentes e fontes de energia de transporte de massa são similares ás da cidade inteligente de Buenos Aires. A falta de implantação da internet 4G e 5G reduz consideravelmente a velocidade de transmissão dos dados nas tecnologias inteligentes

disponíveis no transporte de massa levantado, limitando a capilaridade das informações e influenciando nos resultados dos fluxos de mobilidade urbana, mobilidade inteligente e sustentável na cidade inteligente.

3.1.4 Caracterização Estudo de Caso 4 (Cidade Inteligente de Buenos Aires)

Buenos Aires é a maior cidade argentina, e a terceira a nível sul-americano. A atividade econômica tem como base o setor de serviços, o comércio e a indústria. Geograficamente está localizada na região sudeste da Argentina, na costa ocidental do estuário do Rio da Prata. A cidade de Buenos Aires tem o maior porto de país (Porto de Buenos Aires), que concentra 40% do total do comércio exterior movimentado pelos país. Estrategicamente, sua localização auxilia a capilaridade das redes de transporte rodoviário, ferroviário e aeroviários de todo o país (Buenos Aires Ciudad BA, 2020; Instituto Nacional de Estadística y Censos República Argentina, 2020). Sua região metropolitana tem 15.594.428 habitantes (Tabela 1) (Buenos Aires Ciudad BA, 2020).

Os municípios de Avellaneda, Quilmes, General San Martin, Vicente Lopez, Colinas de Zamora, La Matanza, San Isidro, Almirante Brown, Berazategui, Florencio Varela, Idiota, Hurlingham, San Fernando, Ituzaingo, Tigre, Ezeiza, Esteban Echeverria, San Miguel e Malvinas Argentinas são cidades-dormitório, totalizando vinte e um municípios limítrofes (Buenos Aires Ciudad BA, 2020). O sistema de transporte público de massa de Buenos Aires possui o metrô, o trem, o ônibus urbano e interurbano e é explorada a concessão do transporte público/privado.

O sistema de transporte público de Buenos Aires é gerenciado pelo conjunto das seguintes empresas consorciadas: Subterráneos de Buenos Aires (SBASE ou *Subte* e *Metrovías*) e Premetro, para o sistema de metrô; as companhias Trens argentinos, *Ferrovias* e *Metrovías*, para o sistema de trens urbanos e metropolitanos; *Plaza e Line* 132, *Metrobús*, para o sistema de *Bus Rapid Transit* (BRT); e o Ecobici para o sistema de uso de bicicletas gratuitas. O sistema de bilhetagem para o transporte público de massa é único, como pode ser observado a seguir:

- Bilhete único: O *Sistema Único de Boleto Electrónico* (*Subet*), ou Cartão *MONEDERO*, é um sistema pré-pago que permite aos usuários pagar viagens de ônibus, metrô, pedágios e trens com um único cartão.

A Tabela 5 apresenta as tecnologias empregadas no transporte coletivo de transporte urbano de massa em Buenos Aires.

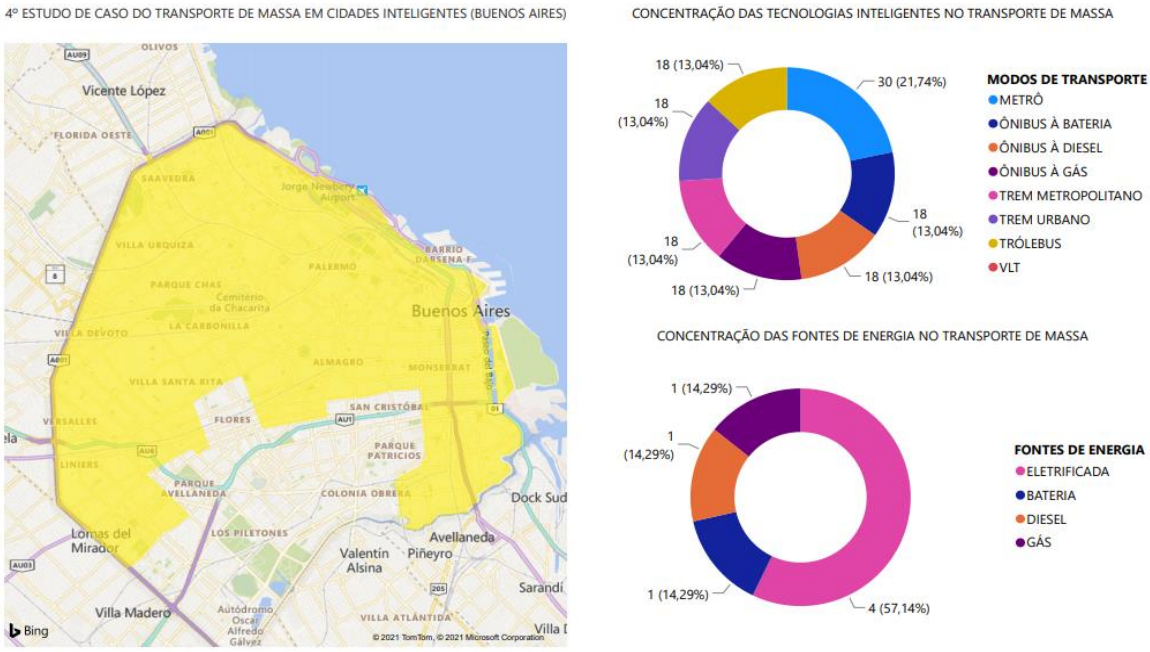
Tabela 5. Composição do Sistema de Transporte Urbano de Massa de Buenos Aires.

Buenos Aires	Modos de Transporte Coletivo Público e Urbano de Massa							
Tecnologia	Ônibus a Diesel	Ônibus a Gás	Ônibus a Bateria	Trólebus	VLT	Metrô	Trem Urbano	Trem Suburbano
ITS	S	S	S	S	*	S	S	S
Ar condicionado	S	S	S	S	*	S	S	S
Internet 4G-usuário	S	S	S	S	*	S	S	S
Internet 5G-usuário	N	N	N	N	*	N	N	N
Painéis de Informação de horários e rotas	S	S	S	S	*	S	S	S
Aplicativos-usuário	S	S	S	S	*	S	S	S
Registrador Mecânico de passageiros	S	S	S	S	*	S	S	S
Registrador Eletrônico de embarques e desembarques	S	S	S	S	*	S	S	S
Emissor de comprovante de pagamento	S	S	S	S	*	S	S	S
Bilhete magnético	S	S	S	S	*	S	S	S
Cartão inteligente	S	S	S	S	*	S	S	S
Rádio Comunicador	S	S	S	S	*	S	S	S
Identificador de Coletivos	S	S	S	S	*	S	S	S
Registrador de passagem	S	S	S	S	*	S	S	S
Registrador de coletivos por satélite	S	S	S	S	*	S	S	S
Registrador do comportamento do condutor e do veículo	NE	NE	NE	NE	*	NE	NE	NE
Registrador de Viagens	S	S	S	S	*	S	S	S
Sinalização Braile	NE	NE	NE	NE	*	S	NE	NE
Biometria Facial	NE	NE	NE	NE	*	S	NE	NE
Comunicador-usuário	S	S	S	S	*	S	S	S
Acionador de semáforo	NE	NE	NE	NE	*	S	NE	NE
Vigiador de vias e interior	NE	NE	NE	NE	*	S	NE	NE
Global Positioning System (GPS)	S	S	S	S	*	S	S	S
Big Data	NE	NE	NE	NE	*	S	NE	NE
Data Mining	NE	NE	NE	NE	*	S	NE	NE
Cloud Computing	NE	NE	NE	NE	*	S	NE	NE
Internet das Coisas	NE	NE	NE	NE	*	S	NE	NE
Internet dos Serviços	NE	NE	NE	NE	*	S	NE	NE
Crowdsourcing	NE	NE	NE	NE	*	S	NE	NE
Blockchain	NE	NE	NE	NE	*	NE	NE	NE
Segurança Cibernética	NE	NE	NE	NE	*	S	NE	NE
Sistemas integrado	S	S	S	S	*	S	S	S
Sanitização	NE	NE	NE	NE	*	S	NE	NE
Total de Tecnologias	18	18	18	18	*	30	18	18
Tipos de Energia	Diesel	Gas	Bateria	Elétrica	*	Elétrica	Elétrica	Elétrica
Fontes de energia	NR	R	R	R	*	R	R	R

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Na Figura 6 é apresentada a concentração das tecnologias e fontes de energia empregadas no transporte coletivo de transporte urbano de massa de Buenos Aires.

Figura 6. Concentração de Tecnologias Inteligentes e Fontes de Energia para o Transporte de Massa da Cidade de Buenos Aires**.**



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Pode-se observar na Figura 6, que a concentração das tecnologias inteligentes no transporte de massa está desequilibrada em relação à quantidade e aos percentuais nos modos de transporte, pois o modo de transporte de massa “metrô” concentra o maior número de tecnologias inteligentes. É importante que haja políticas de equidade tecnológica para se alcançar a distribuição das tecnologias de maneira mais uniforme entre todos os modos de transporte urbano levantados, melhorando a fluxo da mobilidade inteligente da cidade inteligente de Buenos Aires. A mobilidade inteligente compreende em uma série de medidas que visam simplificar a mobilidade dos usuários e que têm, como objetivo em comum, reduzir custos econômicos, ambientais e de tempo (Aletà *et al.*, 2017).

Sobre a concentração das fontes de energia no transporte de massa, pode-se visualizar na Figura 5 o uso maior de energias renováveis, buscando a sustentabilidade através da redução da poluição atmosférica e sonora nas cidades inteligentes. Buenos Aires tem como meta a redução gradual ou a proibição de todos os tipos de veículos a diesel a partir de 2025, e tem como “poderes parciais” da prefeitura a operação no transporte público, e tem como “poderes parciais” a definição e a aplicação das políticas, o controle orçamentário e de receita e a visão definida no transporte público (C40 CITIES, 2021).

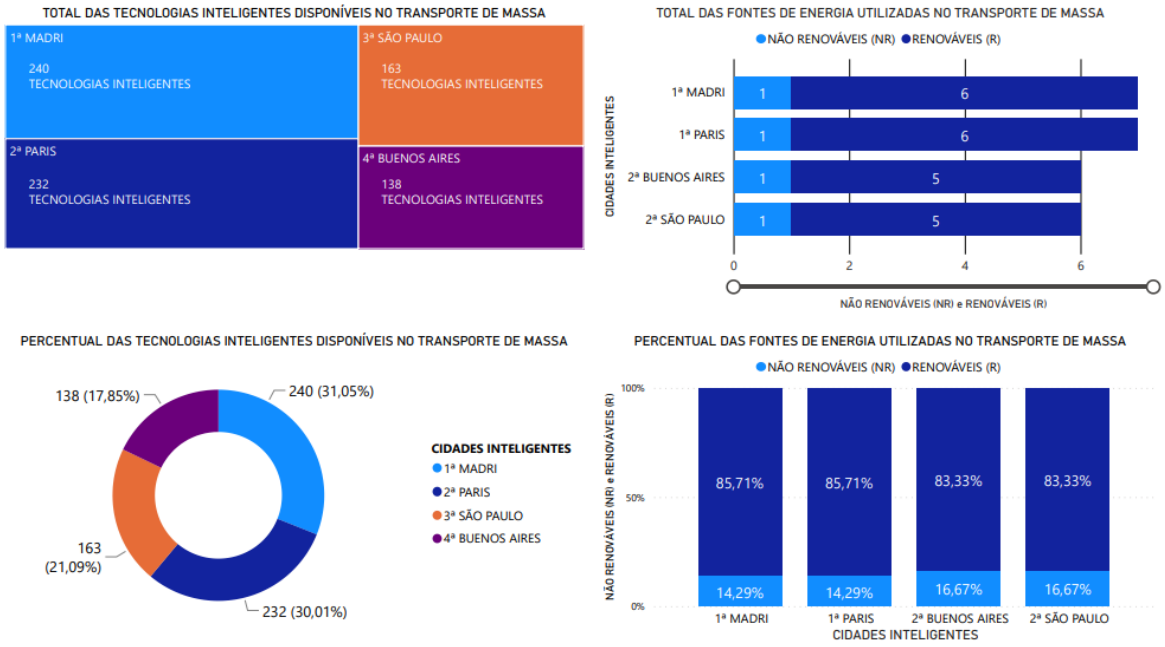
A vulnerabilidade do seu sistema de transporte de massa está na adesão da fonte de energia elétrica para ônibus e a falta de um sistema de Veículos Leve Sobre os Trilhos (VLT). Suas tecnologias inteligentes e fontes de energia de transporte de massa são similares às da cidade inteligente de São Paulo. A falta de implantação da internet 4G e 5G reduz consideravelmente a velocidade de

transmissão dos dados nas tecnologias inteligentes disponíveis no transporte de massa levantado, limitando a capilaridade das informações e influenciando nos resultados dos fluxos de mobilidade urbana, mobilidade inteligente e sustentável na cidade inteligente.

3.2 Classificação de sistema de transporte urbano de massa inteligente e sustentável

Os dados coletados e cruzados pelas duas bases de dados das seções anteriores geraram a triangulação da terceira base. As informações das Figuras 3, 4, 5 e 6 são tratadas na Figura 7, cuja a proposta é a classificação dos sistemas de transporte urbano de massa por tecnologias inteligentes e sustentáveis.

Figura 7. Classificação do Transporte de Massa Urbano Inteligente e Sustentável em Quatro Cidades Inteligentes.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Na Figura 7, as cidades inteligentes podem ser classificadas pelo seu sistema de transporte de massa, considerando a quantidade de lacunas tecnológicas que possam existir entre elas. Por exemplo, a cidade de Madri ocupa a primeira colocação, com o total de 240 tecnologias inteligentes. Paris possui um total de 232 tecnologias inteligentes, ou seja, se comparada a Paris, Madri possui 8 tecnologias inteligentes a mais que a capital da França. A cidade de Paris ocupa a segunda colocação, contando com o total de 232 tecnologias inteligentes, 69 tecnologias a mais que a cidade de São Paulo, que possui um total de 163 tecnologias inteligentes. São Paulo ocupa a terceira colocação, contabilizando 163 tecnologias inteligentes, enquanto Buenos Aires possui 138 tecnologias inteligentes, 25 tecnologias a menos que São Paulo.

Questões como: a velocidade da internet, a disponibilidade de 4G ou 5G disponíveis no plano de mobilidade, a diversificação dos modos de transporte de massa ou mesmo a concentração de *Intelligent Transportation Systems* (ITS) ou tecnologias da Quarta Revolução Industrial ou da Indústria

4.0 impactam no desempenho deste estudo de caso múltiplo. As tecnologias da Quarta Revolução Industrial e da marca da Indústria 4.0 como: a Internet das coisas ou IoT (*Internet of Things*), a Internet de Serviços ou IoS (*Internet of Services*), a *Big Data*, Computação em Nuvem (*Cloud Computing*), a segurança cibernética e a integração de sistemas (Sacomano et al, 2018), foram analisadas nos resultados da triangulação estudada. Identificou-se a aproximação ao tema Indústria 4.0 aplicada aos sistemas inteligentes e sustentáveis de transporte de massa nas quatro cidades inteligentes do estudo de caso múltiplo, nas Figuras 3, 4, 5 e 6.

Sobre as tecnologias sustentáveis, conforme se vê na Figura 7, as quatro cidades inteligentes utilizam fontes de energia convencionais, porém, existe a lacuna tecnológica da transição dos ônibus a diesel para o ônibus elétrico, sendo uma tendência ligada à mudança dos sistemas de frotas de ônibus urbanos e metropolitanos, que concentram o maior volume de veículos para o transporte público (Holland *et al.*, 2021)). Também na Figura 7, observa-se que existem iniciativas para modelos de fontes de energia renováveis como: a bateria, o gás e a já tradicionalmente utilizada eletricidade, para os modos de transporte de massa metrô, trens, VLT, trólebus. Esse fenômeno de fontes de energia renováveis no transporte de massa consolida a ideia de sustentabilidade no transporte público com os percentuais de Madri, Paris (85,71%) e São Paulo e Buenos Aires (83,33%).

O diesel ocupa uma parcela considerável de energia não renovável utilizada em Madri e Paris (14,29%) e em São Paulo e Buenos Aires (16,67%), se analisado com uma fonte de energia não renovável a todo o percentual do estudo de caso múltiplo do transporte de massa em cidades inteligentes.

Desta forma a proposição de um modelo de “Classificação dos Sistemas Inteligentes e Sustentáveis de Transporte de Massa em Cidades Inteligentes” pode ser pensando utilizando a classificação de maior concentração de tecnologias inteligentes disponíveis e maior concentração de fontes de energia renováveis disponíveis no sistema de transporte de massa em cidade inteligentes.

No contexto do estudo, pode-se então classificar Madri e Paris com 6 fontes de energia renováveis disponíveis para uso no transporte de massa, dando a essas cidades em primeiro lugar, e a São Paulo e Buenos Aires, em segundo lugar, com 5 fontes de energia renováveis disponíveis para o uso no transporte de massa.

Pode-se, portanto, concluir que quanto mais distante é o uso da diversificação dos modos de transporte urbano de massa, das tecnologias da Quarta Revolução Industrial e da Industria 4.0 e da implantação de sistemas de fontes de energia renováveis, como os ônibus elétricos, mais distantes ficam as cidades de atender a complexidade da mobilidade urbana de massa. Em contrapartida, menos abertos estão esses sistemas de receberem mais dados de comunicação e tecnologias para mitigarem desafios e riscos nas cidades inteligentes, transformando essas informações estratégias em decisão em prol dos cidadãos.

A população necessita da melhoria contínua e atualizada das informações do transporte de massa pela governança das prefeituras e de sua a consciência das necessidades para oferecer os atributos do transporte como maior conforto, menor tempo de percurso, menor custo e maior acessibilidade, ajustando-se a demanda crescente das metrópoles (ver Tabela 1).

O principal desafio está em mudar o sistema produtivo e o fornecimento dessas tecnologias

para o transporte público para a oferta de tecnologias inteligentes e renováveis para consumo das prefeituras, secretarias de transporte e mobilidade e dos cidadãos que utilizam esse sistema de transporte. Uma cidade inteligente é um sistema que se desenvolve pela influência de fatores externos, nesse caso, o elemento central é a participação direta dos atores e *stakeholders* locais no processo de pensar, definir, planejar e executar as transformações sociais, tecnológicas e urbanas nas cidades (Yigitcanlar *et al.*, 2016).

Desta forma, essas tecnologias inteligentes e sustentáveis podem contribuir para a mitigação de riscos na mobilidade urbana em cidades inteligentes impactando em respostas instantâneas e simultâneas para a qualidade do transporte de massa.

3.3 Análises do Estudo de Caso Múltiplo

Madri, Paris, São Paulo e Buenos Aires trouxeram evidências para discussão da "Classificação de Sistema de Transporte Urbano de Massa Inteligente e Sustentável", tais como:

- **Evidências pelo critério de Convergência dos Sistemas de Transporte Urbano de Massa:** As cidades convergem para a prática de implantação de tecnologias disponíveis, portanto, elas têm em sua composição os *Intelligent Transportation Systems (ITS)* e as tecnologias de Indústria 4.0. Os ITS foram criados e evoluíram de 1970 a 2007, trazendo aplicações das áreas como robótica, informática, telecomunicações e eletrônica para extração de dados, tratamento das informações sobre o trânsito e o tráfego (Nowacki, 2012). Atualmente, existem tecnologias de detecção, de comunicação sem fio, de tecnologia computacional, de análise do comportamento do usuário como parte da cadeia de transporte, dos modelos financeiros que influenciam os ITS, dos regulamentos, das políticas e dos padrões que afetam o futuro dos aplicativos ITS (Dimitrakopoulos *et al.*, 2020).

- **Evidências pelo critério de Divergência dos Sistemas de Transporte Urbano de Massa:** Se analisados os quatro sistemas de transporte de massa nas cidades inteligentes pesquisadas é possível concluir que:

・ Os sistemas de transportes urbanos de massa têm uma classificação divergente, conforme a analise realizada, podendo os mesmos sistemas serem considerados mais ou menos diversificados; mais ou menos concentrados; mais ou menos disponíveis por suas tecnologias aplicadas; ou mais ou menos limpos; ou poluentes em suas fontes de energia (sendo elas renováveis ou não renováveis). Por exemplo, todas as cidades têm a dependência dos ônibus a diesel, trazendo uma prática de fonte de energia dieselizada, apesar de existirem alternativas de outros modos de transporte, como eletrificados, a gás ou bateria. Uma possibilidade a explorar são sistemas de transporte que utilizam biocombustíveis como etanol, porém a literatura é escassa. As demandas energéticas mundiais geram problemas como a degradação ambiental e a ineficiência energética no transporte público urbano, assim, busca-se as inovações tecnológicas como parte de uma solução ao transporte, portanto, a eficiência energética e a qualidade ambiental se tornam oportunidades para contribuir para a sustentabilidade energético-ambiental e econômica do transporte público urbano (Kneib & Tedesco, 2010).

- **Evidências pelo critério das Oportunidades dos Sistemas de Transporte Urbano de Massa:** Atualmente, as cidades inteligentes exploram alternativas para responder ao crescimento da urbanização e suas consequências e desafios (como grande consumo de energia, alterações no clima e meio ambiente, tráfego e congestionamento, entre outros), servindo como tendência a tecnologia facilitadora e sendo alicerce para as cidades inteligentes (Alavi *et al.*, 2018). Existem diversas estratégias de tecnologias em cidades inteligentes como: Sistemas Complexos e as Infraestruturas Digitais; a *Big Data Analytics*, IOT, *Cloud Computing*, *Internet of Service*, e a Automação de Serviços Digitais (Buuse & Kolk, 2019). Há etapas para as cidades tornarem-se inteligentes, como as estratégias inteligentes, os projetos inteligentes e o desempenho inteligente da estrutura e infraestrutura destas cidades (Camboim *et al.*, 2019). Um aspecto oportuno é refletir quanto do Produto Interno Bruto (PIB) das cidades inteligentes que é alocado como recursos ou investimentos para projetos de modernização desse sistema de transporte urbano de massa, e como isso gera retorno às pessoas pelo serviço prestado, em oferta de tecnologias e diversificação do transporte urbano.

- **Evidências pelo critério dos Desafios dos Sistemas de Transporte Urbano de Massa:** Uma questão desafiadora sobre a análise da triangulação dos dados é a possível verificação se esses modos de transporte urbano de massa atendem a quem mais precisa, que seriam as regiões periféricas das áreas urbanas e metropolitanas, já que o conceito de cidades inteligentes traz em si o conceito de uma cidade ideal que consiga suprir as necessidades das pessoas através de indicadores, como a mobilidade inteligente. Esses transportes levam para onde? Todas as áreas centroides ou periféricas dessas cidades têm acesso a esse transporte? Esse transporte urbano prejudica a qualidade de vida das pessoas como um todo em áreas urbanas e metropolitanas? Existem restrições sobre o transporte público para os usuários? Ao longo da história, os sistemas de transportes de massa evoluíram, porém, se por um lado existe a busca pela utilidade no transporte por atributos (Garber & Hoel, 2002; Hoel *et al.*, 2008), por outro, existe também a busca pela escala de desutilidade do transporte (Raymundo & Reis, 2018). Neste estudo pode-se refletir que os atributos do transporte urbano como, por exemplo, conforto, tempo, custo entre outros, podem ser alcançados em níveis satisfatórios com as tecnologias disponíveis e suas fontes de energia que podem ou não ter eficiência energética e serem mais ou menos poluidoras.

Os efeitos de um crescimento populacional desregrado nas cidades podem ser desastrosos para o ambiente e para os cidadãos, afetando sua qualidade de vida e a serventia e eficácia das operações nas cidades (Akande *et al.*, 2019).

4. Considerações Finais

Este estudo de caso múltiplo apresenta que as cidades de Madri, Paris, São Paulo e Buenos Aires caminham para o uso de tecnologias da Quarta Revolução Industrial ou da Indústria 4.0, associadas aos *Intelligent Transportation Systems* (ITS) na busca pela digitalização dos processos de mobilidade urbana, para redução dos impactos ao meio ambiente e melhoria da comunicação nos

serviços de transporte de massa. Entretanto, a diferença entre as cidades europeias de Madri e Paris e as cidades sul-americanas de São Paulo e Buenos Aires está no volume de tecnologias inteligentes e sustentáveis disponíveis. Independentemente se é em maior ou menor grau de concentração no sistema de transporte e na sua composição, as tecnologias disponíveis afetam sensivelmente o indicador de mobilidade inteligente nas cidades. Analisando os indicadores socioeconômicos, econômicos, o ranking das cidades inteligentes e o estudo de caso múltiplo aplicado, o resultado alcançado por esta pesquisa revela que essa classificação tecnológica do transporte de massa para essas cidades inteligentes contribuem para conscientização do uso das tecnologias ao usuário, melhorando a mobilidade inteligente, e para os investimentos na infraestrutura do sistema de transporte de massa.

Considera-se que o estudo expôs para as cidades inteligentes estudadas a necessidade dos investimentos contínuos em diversificação dos modos de transporte de massa, aplicação concentrada de tecnologias em áreas urbanas e metropolitanas, utilização de maneira adaptativa e disruptiva em sua oferta para as pessoas/cidadãos que desempenham o papel de usuários desses serviços. A limitação sobre o tema aponta a precariedade da variação de fontes de energia renováveis ofertadas que podem trazer como consequência uma sustentabilidade mais ou menos limpa ou poluente para o transporte público. Um ponto fundamental é que para classificar um sistema de transporte urbano de massa inteligente e sustentável é necessário traçar um paralelo entre as tecnologias que foram aplicadas, sejam elas da Terceira Revolução Industrial, como os *Intelligent Transportation Systems* (ITS), ou pelas tecnologias da Quarta Revolução Industrial, como a Indústria 4.0. Para pesquisas futuras é sugerido explorar ciclos históricos ou estágios do uso de modos transporte de massa e suas tecnologias pela humanidade.

Agradecimentos

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

Referências

Akande, A., Cabral, P., Gomes, P., & Casteleyn, S. (2019). The Lisbon ranking for smart sustainable cities in Europe. *Sustainable Cities and Society*, 44, 75-487.

Alavi, A. H., Jiao, P., Buttlar, W. G., & Lajnef, N. (2018). Internet of Things-enabled smart cities: State-of-the-art and future trends. *Measurement,* 129, 589-606.

Aletà, N. B., Alonso, C. M., Ruiz, R. M. A. (2017). Smart Mobility and Smart Environment in the Spanish cities. *Transportation Research Procedia,* 24, 163–170.

Buenos Aires Ciudad BA. (2020). Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. https://www.buenosaires.gob.ar/

Burch, I., & Gilchrist, J. (2018). Survey of Global Activity to Phase Out Internal Combustion Engine Vehicles. https://theclimatecenter.org/wp-content/uploads/2020/03/Survey-on-Global-Activities-to-Phase-Out-ICE-Vehicles-update-3.18.20-1.pdf

Buuse, D., & Kolk, Ans. (2019). An exploration of smart city approaches by international ICT firms. *Technological Forecasting & Social Change*, 142, 220–234.

Camboim, G. F., Zawislak, P. A., & Pufal, N. A. (2019). Driving elements to make cities smarter: Evidences from European projects. *Technological Forecasting & Social Change,* 142, 154–167.

C40 CITIES. (2021). https://www.c40.org/about

Consórcio Regional de Transporte de Madrid. (2020). www.crtm.es

Country Economy. (2020). https://pt.countryeconomy.com/

Denzin, N., & Lincoln, Y. (2000) Handbook of qualitative research. (2a ed). Thousand Oaks: Sage.

Dimitrakopoulos, G., Uden, L., & Varlamis, I. (2020). Intelligent transport systems and smart mobility. Magazine The Future of Intelligent Transport Systems, 1st Edition. Elsevier, Amsterdã, 272.

Erkollari, A., Birgit, O. (2018). Sustainable cities need smart transportation: The Industry 4.0 transportation matrix. *Sigma J Eng & Nat Sci* 9 (4), 359-370.

Flick, U. (1992). Triangulation revisited: strategy of validation or alternative? *Journal for the Theory of Social Behavior.* 22 (2), pp. 175-197.

Garber, N. J., & Hoel, L. A. (2002). Traffic and Highway Engineering. Third Edition. Brooks/Cole.

Hoel, L. A., Garber, J. N., & Sadek, A. W. (2008). Transportation Infrastructure Engineering: A Multimodal Integration, SI Version, 1st Edition. Cengage Learning.

Holland, S. P., Mansur, E. T., Muller, N. Z., & Yates, A. J. (2021). The environmental benefits of transportation electrification: Urban buses. Energy Policy. 148.

IESE. (2020). IESE Cities in Motion INDEX 2020. Business School University Navarra. https://citiesinmotion.iese.edu/indicecim/?lang=en

International Energy Agency (IEA). (2020). Global EV Outlook 2020: Entering the decade of electric drive? Clean Energy Ministerial, and Electric Vehicles Initiative (EVI). https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020

Instituto Nacional de Estadística. (2020). Datos de la ciudad de Madrid. Https://Www.Ine.Es/

Instituto Nacional de Estadística y Censos Republica Argentina. (2020). Dados da Cidade de Buenos Aires. https://www.indec.gob.ar/

Kneib, E. C., & Tedesco, G. M. I. (2010). Sustentabilidade energética do transporte público urbano: diretrizes para o Brasil. *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, (8)881, 1-13.

Kumar, H., Singh, M. K. S., Gupta, M.P. G., & Madan, J. (2019). Moving towards smart cities: Solutions that lead to the Smart City Transformation Framework. Technological Forecasting & Social Change.

Lara, A. P., Moreira Da Costa, E., Furlani, T. Z., & Yigitcanlar, T. (2016). Smartness that matters: towards a comprehensive and human-centred characterisation of smart cities. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 2(1). doi:10.1186/s40852-016-0034-z.

Paris. (2020). https://www.paris.fr/

Plan Paris 360º. (2020). Https://Pt.Parismap360.Com/Mapa-Onibus-Paris#Map42

Nowacki, G. (2012). Development and Standardization of Intelligent Transport Systems. *International Journal on Marine and Safety of Sea Transportation,* (6)3, 403-411.

Portal web del Ayuntamiento de Madrid. (2020).

Movilidad y Transportes (2020). https://www.madrid.es/portal/site/munimadrid

Prefeitura de São Paulo. (2020). www.capital.sp.gov.br

PricewaterhouseCoopers (2020). Global City GDP Ranking 2008-2025. https://pwc.blogs.com/files/global-city-gdp-rankings-2008-2025.pdf

Raymundo, H., & Reis, J. G. M. (2018). Measures for Passenger-Transport Performance Evaluation in Urban Areas. *Journal of Urban Planning and Development* (3)144, 1-14.

Sacomano, J. B., Gonçalves, R. F, & Bonilla, S. H. (2018). Indústria 4.0: Conceitos e Fundamentos. Blucher.

Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. *British Journal of Management,* 14(3), 207–222. doi:10.1111/1467-8551.00375.

Yin, R. K. (2014). Case Study Research Design and Methods (5th ed.). Sage, 282.

2.1.4 Resultados e Discussão sobre a proposição do modelo de classificação

As contribuições do referencial teórico resumido sobre o conceito de cidades inteligentes esclarecem que a mobilidade urbana está inserida, dentro desse contexto, como uma área ou campo-chave. O transporte de massa compõe esse campo-chave como um serviço prestado que gera qualidade de vida e bem-estar aos cidadãos. Desse modo, o serviço público de transporte de massa necessita de constantes atualizações por indicadores, a fim de avaliar o desempenho inteligente da comunicação equâmine ao usuário e sustentável da redução da poluição ambiental.

Alguns autores descrevem diferentes formas e possibilidades para a resolução de problemas nessas cidades como, por exemplo, o foco nas relações *bottom-up*, que preconizam ouvir as necessidades de baixo para cima, na base da pirâmide social (BREUER, WALRAVENS; BALLON, 2014). Nesse caso, ouvir quem mais utiliza os serviços públicos torna-se necessário, ao invés de focar apenas nas relações *top-down*, pelas quais a tomada de decisão tem como base, apenas, o alto escalão de governança de uma cidade. Breuer, Walravens e Ballon (2014) trazem a visão analítica da gestão dos serviços públicos, considerando a gestão democrática como ponto determinante para melhoria do desempenho dos serviços, que passa pela tomada de decisão em conjunto com os cidadãos e gestores.

Portanto, essa é uma das ideias que servem de base para se iniciar a construção do modelo de classificação de transporte público para cidades inteligentes baseado em tecnologias, sendo mais próximo do que é democrático aos usuários pela melhoria dos atributos do transporte. Assim, foram organizados e desenvolvidos quadros analíticos das tecnologias e indicadores para que possam ser aplicados no futuro por secretarias de mobilidade urbana e transporte público.

Há uma sequência de construção do modelo em um âmbito geral para a cidade inteligente, que procura melhorar a qualidade de vida do cidadão de maneira cooperativa e compatilhando as decisões. O modelo de classificação de transporte de massa é construído com base nas ideias de autores que demonstram a limitação por meio de críticas ao acesso do serviço prestado ao transporte público até chegarmos ao transporte de massa e suas tecnologias e sobre a sustentabilidade de ônibus, VLTs e metrôs.

Nessa linha de raciocínio, propõe-se as seguintes questões: o transporte de massa é equâmine em seu acesso à informação, melhorando a comunicação dos

usuários? O transporte de massa pode ser menos poluente através de novas fontes de energias alternativas e renováveis? Respondendo essas questões, têm-se o modelo proposto nesse estudo e aos autores críticos das tecnologias na cidade inteligentes e a sustentabilidade no transporte.

O modelo proposto pode analisar o transporte de massa a partir do agrupamento das tecnologias inteligentes e sustentáveis para a sua população. Isso é incialmente desenvolvido no Artigo 2, *Available Technologies for Mass Transport Modes in Smart Cities*, que serve de base para construção em parte do modelo. Todos os níveis da pirâmide social e econômica dos agentes podem participar do processo decisório desse transporte, como os usuários, empresas de tecnologias, operadoras de transporte e governantes da cidade, podendo cooperar para estruturar e aplicar a gestão democrática dos recursos que irá melhorar a qualidade do transporte público.

Existe um indício desse processo no Artigo 1, *The impact of technological, economic and socioeconomic factors on the sustainability of public transportation in smart cities*. Após sua leitura e reflexão existem para algumas cidades caracterizadas como outliers como Bilbao (ESP), Santos (BRA), Porto (POR) e Múrcia (ESP) por sua relação de crescimento proporcional e desempenho dos dados cruzados socioeconômicos, econômicos, de modos de transporte e tecnologias. Essa análise pode estar intrinsecamente ligada a uma gestão compartilhada no processo decisório entre os agentes. Então, é possível entender que os dados coletados do Artigo 1 podem serem vistos, também, como recursos aplicados no planejamento de transporte de massa em cidades inteligentes. Isso impacta a gestão democrática, uma vez que se compartilha para onde irão os recursos racionalizados. Todos os dados em crescente proporcionalidade, como é visto no Artigo 1, podem ser também outro indício de racionalização de recursos ao transporte de massa para o usuário e, dessa forma, impactam os atributos do transporte.

Hall et al. (2000) falam da importância de analisar e comparar a cidade no seu estágio atual e futuro, para planejar ações em diversas áreas da cidade inteligente, através do confronto entre cenários do presente com o futuro. Partindo desse pressuposto, os Artigos 2 e 3 trazem a preocupação de quais tecnologias as cidades inteligentes possuem no seu estágio atual e se essas cidades estão em transição para o uso de novas tecnologias.

Os resultados dos Artigos 2 e 3 trazem a conclusão de que o transporte de massa em cidades inteligentes está se consolidando com o uso de tecnologias da

Terceira Revolução Industrial como o predomínio de uso dos ITSs em seu estágio atual. Essa adição serve como cooperação do uso de novas tecnologias da Quarta Revolução Industrial, que seriam, nesse caso, o estágio futuro para as tecnologias inteligentes se consolidarem.

As novas fontes de energia vistas no estágio futuro, como tecnologias sustentáveis — bateria, biogás, biodiesel, elétrica, eletrificação por retroalimentação regenerativa, célula modular híbrida (hidrogênio/elétrica) e óleo vegetal hidrotratado (OVH) —, podem diminuir o estágio atual da dependência do diesel.

Kim (2022) já observa que a manutenção dos serviços nas cidades inteligentes é tão importante quanto criá-los e, com base nesse autor, os Artigos 2 e 3 apontam a cooperação de tecnologias da terceira (ITSs) e Quarta Revolução Industrial, de certa forma, pode melhorar a manutenção dos serviços de transporte de massa, aumentando a diversidade de tecnologias disponíveis.

O Artigo 3 esclarece como é importante a geração da internet, se 1G, 2G, 3G, 4G ou G5, para a qualidade transmissão dos dados dessas tecnologias relacionadas ao transporte de massa em seu levantamento, concentração e classificação nas cidades metropolitanas de Buenos Aires, Madri, Paris e São Paulo. Esse aspecto tem clara relação com a ideia de Kim (2022) sobre a importância da manutenção dos serviços prestados na cidade inteligente, em que a qualidade e a geração de internet pode ser um fator determinante para o uso e desempenho das tecnologias inteligentes. Já o Artigo 1 esclarece como é importante ter os ITSs operando em sua totalidade, como no exemplo as cidades portuguesas e espanholas, e na cidade brasileira de Santos, em sua rede de transporte de massa.

Para Meijer e Bolívar (2016), a compreensão política da tecnologia cria formas de colaboração humana por meio de tecnologias. Dessa forma, o Artigo 3 se alinha à ideia de Meijer e Bolívar (2016) de maneira conectiva a compreender o quanto é necessário triangular dados de uma cidade inteligente e do seu sistema de transporte de massa. O Artigo 3 descreve que o sistema de transporte urbano de massa metropolitano é construído por acúmulo de tecnologia ao longo do tempo, sendo implantado na cidade inteligente de acordo com as necessidades da mobilidade urbana local, e podendo ser classificado em suas quantidades como mais ou menos diverso, mais ou menos tecnológico e mais ou menos limpo ou poluente. Assim, é possível avançar a reflexão relatando que o processo metodológico do Artigo 3 contribui para que exista uma compreensão da política tecnológica das cidades

inteligentes analisadas para melhorar ou criar formas de colaboração humana por meio dessas tecnologias colecionadas.

Avançando a discussão para indicadores já existentes, a norma ISO 37122 não menciona um modelo específico dos modos de transporte citados neste estudo, como para os VLTs e metrôs. A norma se limita a ônibus e a mobilidade urbana associada a modos de transporte urbano não motorizados e individuais. Portanto, a norma abre uma lacuna de pesquisa para a criação de indicadores para o “transporte massa” e, dessa forma, propõe um modelo específico de classificação de transporte de massa inteligente e sustentável.

Esses indicadores auxiliam a operacionalização e construção de um transporte público para uma cidade inteligente. A política tecnológica pode ser aplicada em conjunto com normas e indicadores da ISO 37122. Dessa forma, propor e incluir um modelo de indicadores específicos inteligentes e sustentáveis no transporte de massa pode melhorar o desempenho do serviço prestado, melhorando, assim, em sequência, os atributos como, por exemplo: tempo, custo, rapidez, conectividade etc. Mas, de que maneira? A resposta é dada com construção da estrutura analítica com base no referencial teórico resumido das cidades inteligentes, antes da proposição dos quadros dos indicadores inteligentes e sustentáveis, com base nos três artigos produzidos como eixos principais deste estudo.

Tecnologias inteligentes são constituídas por invenções da Terceira e da Quarta Revolução Industrial que preconizem o tratamento de dados virtualizados e hiperconectados, que são expostas para o uso dos usuários quando necessárias para melhorar a comunicação, buscando a possibilidade de ter o acesso equânime a todos os cidadãos. Além delas, as tecnologias sustentáveis são caracterizadas por sistemas energéticos, fontes de energia alternativas e renováveis. Assim, é possível analisar os esforços para não priorizar o uso do diesel e, sim, o de combustíveis menos nocivos ao meio ambiente e com melhor eficiência dos recursos naturais, estimulando a racionalidade no uso dos recursos.

A proposição do modelo direcionado ao transporte de massa tem, em sua principal ideia, a construção por tecnologias inteligentes e sustentáveis e indicadores agrupadas. Esse agrupamento de tecnologias e indicadores serve para avaliar o desempenho dos serviços no transporte de massa e especializá-lo, gerando maiores benefícios à população.

Sequenciar o raciocínio da proposição dos indicadores como um modelo para

cidades inteligentes em duas etapas traz a reflexão que os conceitos da literatura abordada podem ser tomados como pré-requisitos neste estudo. E quais são os conceitos das cidades inteligentes por diversos autores que são possíveis transformá-los em pré-requisitos? É possível citar a democratização das tomadas de decisões das cidades inteligentes para implementação de seus serviços públicos (BREUER, WALRAVENS; BALLON, 2014), a análise dos estágios tecnológicos entre o hoje e amanhã de uma cidade inteligente (HALL et al., 2000), a necessidade constante de manutenção dos serviços, ao invés de apenas a criação deles (KIM, 2022), a devida atenção ao uso da gestão tecnológica dos recursos e da sua difusão pela comunicação e no seu sentido de função aos serviços prestados (MEIJER; BOLÍVAR, 2016) e o mapeamento do uso dos processos e tecnologias como indicadores específicos para se alcançar índices aceitáveis para classificar uma cidade como inteligente, visando o bem estar e a qualidade de vida de seus cidadãos (ISO 37122).

O percurso realizado no referencial teórico resumido auxilia o entendimento da complexidade de mapear e especificar qualquer indicador que impacta no desempenho de informações equânimes e menos poluentes na área de mobilidade urbana e transporte público por ônibus, VLTs, metrôs e trens na cidade inteligente.

Kim (2022) estabelece que as empresas podem ser classificadas entre aquelas que protegem toda a cadeia de valor das cidades inteligentes e aquelas que possuem apenas alguns serviços. As empresas que focam na cadeia de valor estabelecem ativamente um sistema cooperativo para proteger a tecnologia da cidade. Em vez de desenvolver toda a tecnologia necessária, eles demonstram flexibilidade em responder as várias necessidades das cidades inteligentes, colaborando com empresas que fornecem serviços individuais.

Os serviços de transporte público também passam pelo entendimento de uma formação de uma cadeia de valor entre as empresas que o presta e, nesse caso, os indicadores podem contribuir para a melhoria do seu desempenho e, sistematicamente, impactar na qualidade de vida e bem-estar das pessoas que utilizam as viagens pelos modos de transporte de massa dentro das cidades.

Portanto, grande parte dos conceitos de cidades inteligentes pode transformar-se em pré-requisitos para a proposição do modelo de classificação por tecnologias de transporte e sustentáveis antes da criação dos indicadores que serão propostos.

Outra questão abordada no referencial teórico resumido que deve ser

salientada para a construção do modelo é a evolução do transporte de massa, muitas vezes também conceituado como transporte público, que discute temas ligados a bondes, ônibus, metrôs, VLTs e trens urbanos e metropolitanos, suas criações como modos de transporte de massa e suas tecnologias. Pelo que discorremos no referencial teórico houve uma evolução em diferentes “estágios”, que podem ser caracterizados como sendo: com mais ou menos informações equânimes para os usuários por suas tecnologias disponíveis em cada época, ou mais ou menos poluentes por seus sistemas energéticos utilizados no meio ambiente.

A Figura 3 ilustra esses fatos históricos entre a intensificação do uso dessas tecnologias e os tipos de sistemas energéticos no transporte de massa com o decorrer de cada época.

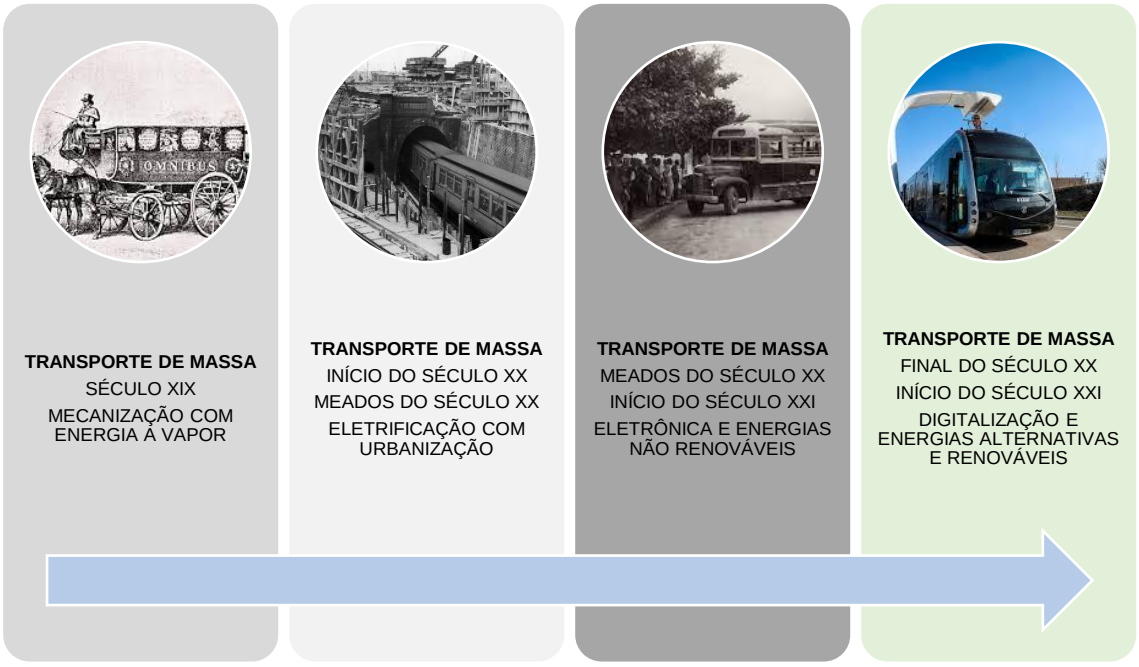


Figura 3 - Evolução do transporte de massa e seus estágios históricos.
Fonte: O autor.

Esta pesquisa desenvolveu uma análise em que a qualidade das tecnologias sustentáveis e inteligentes devem estar intrinsicamente ligadas para propor um modelo de indicadores de desempenho para o transporte de massa. Esse modelo de classificação agrupou essas tecnologias em dois aspectos primordiais, o primeiro associa o desempenho das tecnologias inteligentes a disponibilizarem informações equânimes para os cidadãos da cidade inteligentes, relacionando-as com Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), já o segundo associa as tecnologias

sustentáveis ao desempenho menos poluente para o ambiente em que esse cidadão circula.

A Figura 3, “Evolução do transporte massa e seus estágios históricos”, foi criada com base no referencial teórico resumido e nos resultados dos três artigos elaborados, cada um deles se tornando um indicativo do que era necessário para a criação de uma proposta de classificação do transporte de massa por tecnologias de transporte e sustentáveis. À medida que cada artigo chegava ao seu término, se criava um indicativo a proposição de uma tabela de indicadores através do agrupamento das tecnologias como inteligentes e sustentáveis com o intuito de gerar qualidade de vida e bem-estar aos cidadãos de uma cidade inteligente, configurando dessa forma no modelo proposto.

O primeiro indicativo, dado pelo Artigo 1, abordava o cenário do transporte de massa para cidades inteligentes de até 500.000 habitantes que trouxeram resultados das análises gráficas sobre tecnologias, orçamento público, densidade populacional e Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e descrevendo o impacto dessas variáveis na configuração dos sistemas de transporte coletivo com aspectos positivos e negativos, influenciando o planejamento do sistema de transporte coletivo no longo prazo. Portanto, as redes de transporte de massa e seus modos necessitam de alternativas de energias renováveis que são menos poluentes em razão da dependência do combustível a diesel. Já as tecnologias alocadas nos modos de transporte, são tecnologias a base de *Intelligent Transportation Systems* (ITS) – Sistemas Inteligente de Transporte. Como contribuição desse artigo à tese, outras tecnologias devem ser propostas ao sistema de transporte de massa e aos seus modos, como as tecnologias da Quarta Revolução Industrial, que melhorariam a capilaridade e disponibilidade dos serviços de transporte, e não ficarem apenas pautadas em tecnologia da Terceira Revolução Industrial, nesse caso, os ITSs seriam um campo tecnológico de inserção de novas tecnologias para as beneficies dos usuários e ao sistema do transporte de massa. Uma questão constatada é que os dados socioeconômicos e econômicos nas análises gráficas se mostraram correlacionáveis, inversamente proporcionais, ou proporcionais aos modos de transporte disponíveis e suas tecnologias.

O segundo indicativo, dado pelo Artigo 2, abordava as tecnologias inteligentes e sustentáveis disponíveis para o transporte de massa e trouxe o resultado da aplicação da análise de texto mecanizada pelo software Iramuteq, que constatava na

revisão da literatura indícios que as tecnologias utilizadas no século XXI poderiam ser agrupadas entre tecnologias inteligentes e sustentáveis. Como contribuição desse artigo à tese, algumas tecnologias poderiam ser utilizadas por critérios de inteligência e sustentabilidade, como um fator ou indicação de que o transporte de massa evolui em condições que a cidade inteligente impõe por seus desafios diários, como a necessidade dos usuários de transporte de massa por milhões de dados que precisam ser tratados gerando as informações equânimes a mobilidade urbana. Por outro lado, os usos de sistemas energéticos podem reduzir da poluição atmosférica e sonora e melhorar o desempenho energético dos modos de transportes ônibus, VLT e metrôs. Uma limitação exposta nesse artigo, está em não se encontrar literatura suficiente sobre trens urbanos, suburbanos ou metropolitanos, deixando pendente o aprofundamento sobre esse modo de transporte de massa para pesquisa futuras.

O terceiro indicativo, dado pelo Artigo 3, é a classificação do transporte de massa inteligente e sustentável em cidades com população acima de 6.000.000 de habitantes que trouxe resultados, por exemplo, como a proposição de um processo estruturado de levantamento, mapeamento e de grau de concentração e volume das tecnologias do transporte de massa. Conseguiu-se identificar que esses sistemas de transporte urbano de massa metropolitanos são construídos historicamente em estágios de evolução tecnológica e são implantados nas cidades inteligentes de acordo com as necessidades de sua mobilidade urbana, e podem ser classificados como mais ou menos diversos, mais ou menos tecnológicos e mais ou menos limpos ou poluentes. Portanto, o terceiro artigo estimulou o levantamento de tecnologias específicas de transporte de massa utilizadas nas cidades, analisado pelo critério de tecnologias inteligentes da Terceira e da Quarta Revolução Industrial e tecnologias sustentáveis, pelos sistemas energéticos com uso a diesel ou de fontes de energia alternativas e renováveis.

Os resultados evidenciados anteriormente no referencial teórico resumido conectados aos três artigos serviram de subsídios para a construção do modelo de classificação de transporte urbano baseado em tecnologias. A proposta do modelo é estruturada conforme a Figura 4, a seguir.

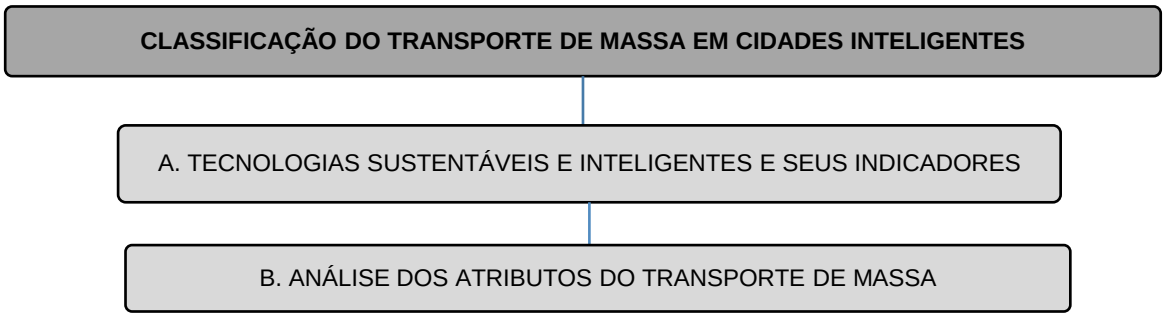


Figura 4 - Classificação por categorização das variáveis do modelo de transporte de massa em cidades inteligentes em duas etapas.
Fonte: O autor.

A etapa A direciona inicialmente a proposição de um modelo de classificação de transporte público para cidades inteligentes baseado em tecnologias e sustentabilidade. Existem autores que podem estimular, como ponto de partida, a necessidade de aprofundamento para transporte de massa criando escalas para classificação das tecnologias inteligentes a comunicação dos usuários e sustentáveis.

Tanto Holland et al. (2021) quanto Xylia, Ibrahim e Silveira (2016) colaboram com as ideias sobre fontes de energia para construção da estrutura das tecnologias sustentáveis e seus indicadores para a composição dos Quadros 09 e 10. Esses quadros poderão ser usados como instrumento para as cidades inteligentes em sua área de mobilidade urbana aplicando-os, onde são apontadas as tecnologias que podem contribuir para processo de sistemas energéticos menos poluentes, sendo alternativas a dependência do diesel como combustível poluente.

Esses estudos estimularam o desenvolvimento dos Quadros 09 e 10 sobre tecnologias sustentáveis para fontes de energia para o transporte de massa, mais abrangente e menos específico a cada modo de transporte desenvolvida pela tese.

Tabela 1 - Decomposição dos danos por poluição do ar em ônibus

Fontes de Energia	Média CO^2
Diesel Velho (Parado)	1,003
Diesel	0,151
Gás Natural Veicular - GNV	0,123
Elétrico	0,112

Fonte: Adaptado de Holland et al. (2021, p. 05).

Resgatando o Artigo 1, é possível notar que existem esforços em algumas cidades como Bilbao (ESP), Múrcia (ESP), Porto (POR), Santos (BRA) para reduzir a dependência do combustível fóssil (diesel). Mas é possível que o volume da cadeia de abastecimento das fontes de energias alternativas e renováveis sejam menores ainda nas cidades inteligentes. Portanto, existe essa dependência não só das cidades que tentam reduzir o consumo fóssil, mas também das cidades com 100% ou próximo a esse valor da dependência de dieselização como Salta (ARG), Santa Fé (ARG), Corrientes (ARG), Bahia Blanca, Córdoba (ESP), Maringá (BRA), Anápolis (BRA), Petrolina (BRA), Valladolid (ESP), Sintra (POR), Vila Nova de Gaia (POR) e Cascais (POR).

Dessa forma, o Artigo 1 identificou contribuições futuras para uso de novas tecnologias que possam melhorar a comunicação aos usuários, junto com os ITSs já existentes nessas cidades inteligentes. Por outro lado, o artigo demonstra que existe a possibilidade de analisar as fontes de energias menos poluentes. Essas duas contribuições futuras do Artigo 1 estimularam a pesquisa de quais são essas tecnologias, e como elas são caracterizadas e agrupadas no transporte de massa de uma cidade inteligente. Portanto, as contribuições do Artigo 1 se transformam nos objetivos do Artigo 2.

O Artigo 2 consegue separar as tecnologias em dois grupos, como inteligentes e sustentáveis e, nesse modelo, essas tecnologias são estruturadas com outros aspectos para sua validação em uma cidade inteligente no transporte de massa.

No Artigo 3, a pesquisa analisou e compreendeu a composição e a concentração dos sistemas de transporte urbano de massa de quatro cidades inteligentes com perfil metropolitano e classificou essas cidades inteligentes considerando que seus sistemas de transporte de massa foram construídos historicamente em estágios de evolução tecnológica e são implantados de acordo com as necessidades de mobilidade urbana dessas cidades e podem, assim, ser classificados como mais ou menos diversos, mais ou menos tecnológicos e mais ou

menos limpos ou poluentes.

O modelo proposto aqui é construído como uma classificação baseada em tecnologias de duas classes: a primeira, de tecnologias sustentáveis (ver Quadros 9 e 10), e a segunda, de tecnologias inteligentes (ver Quadros 11 e 12).

A formação das tecnologias e seus indicadores no Quadro 9 são identificadas suas origens através de:

- Eixo: Sua origem está nas pesquisas das duas classes de tecnologias elencadas como sustentáveis e inteligentes e validadas nos Artigos 2 e 3 produzidos para a tese.
- Tecnologias Sustentáveis: São evidenciadas no referencial teórico resumido e nos três artigos propostos, relacionando as fontes de energia existentes no transporte público.
- Eficiência Energética: Tem origem nas fontes de energia pelo estudo da tese, através das reflexões evidências do referencial teórico resumido e dos Artigos 2 e 3. São caracterizados por serem os objetivos das tecnologias sustentáveis.
- Escala de classificação: Tem sua origem no levantamento das fontes de energias evidenciadas nos Artigos 2 e 3.
- Porcentagem (%) de pessoas transportadas por dia: Esse indicador esclarece que cada cidade possui seu Plano Diretor Municipal específico, sendo ele impactado pelo tamanho de sua população. Conforme Valente et al (2011) os setores de transporte e mobilidade urbana de uma cidade podem ser dimensionados em sua estrutura em diretorias, coordenações e secretarias de transporte e mobilidade urbana, isso fica a cargo da prefeitura. Portanto, a responsabilidade do levantamento e monitoramento dos dados do transporte público, como porcentagem de pessoas transportadas por dia, e por modo de transporte de massa é determinado e de responsabilidade da prefeitura.
- Por modo de transporte de massa: Esse indicador é associado ao indicador anterior “% pessoas transportadas por dia”, os modos de transporte de massa são reconhecidos também por seus diversos autores como modos de transporte urbano coletivo. Estando em constante uso do termo e seus tipos na literatura de Ferraz e Torres (2004), Vuchic (2007) e Hoel et al. (2010).

A diversificação das tecnologias sustentáveis está apresentada no Quadro 10.

Quadro 9 - Proposta de um modelo de classificação de transporte público para cidades inteligentes baseado em tecnologias e indicadores sustentáveis.

Classificação de transporte urbano baseado em tecnologias e indicadores inteligentes					
Eixo	Tecnologias Sustentáveis	Eficiência Energética	Escala de Classificação	% pessoas transportadas por dia	Por modo de transporte de massa
(1) Sustentabilidade	Diesel	Menos eficiente que todos os anteriores	1	*	Ônibus
	Bateria	Mais eficiente que o 1	2	*	Ônibus
	Biogás	Mais eficiente que o 2	3	*	Ônibus
	Biodiesel	Mais eficiente que o 3	4	*	Ônibus
	Etanol	Mais eficiente que o 4	5	*	Ônibus
	Elétrica	Mais eficiente que o 5	6	*	Ônibus
	Eletrificação	Mais eficiente que o 6	7	*	VLT/Metrô
	Célula Modular Hibrida (Hidrogênio/Elétrica)	Mais eficiente que o 7	8	*	Ônibus
	Óleo Vegetal Hidrotratado (OVH)	Mais eficiente que todos os anteriores		*	Ônibus

Fonte: O autor.

Quadro 10 - Índice de evolução por diversidade tecnológica para sustentabilidade no transporte de massa na cidade inteligente

Classificação por Diversidade Tecnológica Sustentável	Uso por quantidade de Fonte de Energias	% de Uso Parcial ao Totalizado Sustentável
Diesel	Apenas 1 fonte de energia	11,11
Bateria	Apenas 2 fontes de energia	22,22
Biogás	Apenas 3 fontes de energia	33,33
Biodiesel	Apenas 4 fontes de energia	44,44
Etanol	Apenas 5 fontes de energia	66,67
Elétrica	Apenas 6 fontes de energia	63
Eletrificação	Apenas 7 fontes de energia	77,78
Célula Modular Híbrido (Hidrogênio/Elétrica)	Apenas 8 fontes de energia	88,89
Óleo Vegetal Hidrotratado (OVH)	Apenas 9 fontes de energia	100

Fonte: O autor.

146

Em sequência, nos Quadros 11 e 12, são apresentadas e fundamentadas as tecnologias e indicadores inteligentes com base nos conhecimentos acumulados do referencial teórico resumido e nos três artigos elaborados para o modelo transporte público ou de massa.

No Quadro 11 é possível especificar a origem das tecnologias inteligentes e seus indicadores com base no estudo:

- Eixo: Sua origem está nas pesquisas das duas classes de tecnologias elencadas como sustentáveis e inteligentes e validadas nos Artigos 2 e 3 produzidos para a tese.
- Tecnologias Inteligentes: São evidenciadas no referencial teórico resumido e nos três artigos propostos, relacionando-as com parte das tecnologias da Terceira e Quarta Revolução Industrial existentes no transporte público.
- Comunicação Equânime: Origina-se nas tecnologias de Terceira e Quarta Revolução Industrial pelo estudo da tese, através das reflexões e do referencial teórico resumido e dos Artigos 2 e 3. É caracterizada por serem os objetivos das tecnologias inteligentes.
- Escala de Classificação: Tem sua origem no levantamento das tecnologias da Terceira e Quarta Revolução Industrial evidenciadas nos Artigos 2 e 3.
- Tipo de geração de redes móveis: Esse indicador pontua que a internet pode ser menos ou mais eficiente utilizando uma escala do tipo de geração de rede móvel atualizada, da menor para maior Geração em G1, G2, G3, G4 ou G5, quanto maior a G – Geração, melhor é a transmissibilidade da qualidade da rede de internet móvel. Sua origem está nos Artigos 2 e 3, onde é discutido a importância da eficiência de dados de transporte de massa transmitidos em seu percentual de 100% do todo do que foi captado por essas tecnologias. As empresas de tecnologias e operadores de transporte devem se preocupar com latência da internet discutido ao longo da tese, nas seções de introdução e resultados e discussão. No Artigo 3, é discutido como o tipo de geração da internet móvel pode influenciar no desempenho dessas tecnologias inteligentes no transporte de massa na cidade inteligente.

A diversificação das tecnologias inteligentes está apresentada no Quadro 12.

Quadro 11 - Proposta de um modelo de classificação de transporte público para cidades inteligentes baseado em tecnologias e indicadores inteligentes

Eixo	Tecnologias Inteligentes	Comunicação Equânime	Escala de Classificação	Tipo de geração de redes móveis
(2) Inteligente	1. *Intelligent Transportation Systems* 2. Blockchain 3. Learning Machine 4. Internet of Service (IoS) 5. Internet of Things (IoT) 6.Data Mining 7.Big Data 8.Cloud Computing 9.Global Position System (GPS) 10.Softwares de Simulação	• Acessível a todos os usuários • Segura • Customiza • Atualiza • Precisa • Protege • Interpreta • Identifica padrões • Conectiva • Em tempo real • Multidirecional • Fácil acesso ao histórico das informações • Consolida • Seleciona • Armazena e processa • Melhora a localização • Otimiza o tempo • Opções de trajetos	1. utilizada isoladamente	Se G1, G2, G3, G4; G5
			2. utilizada em conjunto com 1	Se G1, G2, G3, G4; G5
			3. utilizada em conjunto com 1 e 2	Se G1, G2, G3, G4; G5
			4. utilizada em conjunto com 1,2 e 3	Se G1, G2, G3, G4; G5
			5. utilizada em conjunto com 1, 2, 3 e 4	Se G1, G2, G3, G4; G5
			6. utilizada em conjunto com 1, 2, 3, 4 e 5	Se G1, G2, G3, G4; G5
			7. utilizada em conjunto com 1, 2, 3, 4, 5 e 6	Se G1, G2, G3, G4; G5
			8. utilizada em conjunto com 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7	Se G1, G2, G3, G4; G5
			9. utilizada em conjunto com 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8	Se G1, G2, G3, G4; G5
			10. utilizada em conjunto com 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 9	Se G1, G2, G3, G4; G5

Fonte: O autor.

Quadro 12 - Índice de evolução por diversidade tecnológica inteligente para comunicação equânime ao usuário no transporte de massa na cidade inteligente

Classificação por Diversidade Tecnológica Inteligente	Uso por quantidade de Tecnologias Inteligentes	% de Uso Parcial ao Totalizado Inteligente
Intelligent Transportation Systems	apenas 1 tecnologia inteligente	10
Blockchain	apenas 2 tecnologias inteligentes	20
Learning Machine	apenas 3 tecnologias inteligentes	30
Internet of Service (IoS)	apenas 4 tecnologias inteligentes	40
Internet of Things (IoT)	apenas 5 tecnologias inteligentes	50
Data Mining	apenas 6 tecnologias inteligentes	60
Big Data	apenas 7 tecnologias inteligentes	70
Cloud Computing	apenas 8 tecnologias inteligentes	80
Global Position System (GPS)	apenas 9 tecnologias inteligentes	90
Softwares de Simulação	Todas as 10 tecnologias inteligentes	100

Fonte: O autor.

Retornando ao conceito de Hall (2000), que descreve que o planejamento de uma cidade, está em transição entre sua estrutura física para uma estrutura virtual, oferecendo serviços prestados, públicos e privados, mais rápidos devido à alta conectividade das informações pelo gerenciamento de redes de computadores, e sendo mais assertivos, atendendo as necessidades dos usuários, tornando-os mais especializados.

Levando em consideração que as tecnologias inteligentes para o transporte de massa estão incluídas no ambiente das cidades inteligentes, é relevante que se faça essa transição entre sua infraestrutura física para virtual com muita atenção a especialização do serviço de transporte público com o plano de mobilidade urbana, com o planejamento urbano e a gestão pública, para que os serviços não se tornem obsoletos e gerem resultados insatisfatórios aos usuários.

Partindo dessa premissa, o modelo desta tese para tecnologias inteligentes propõe que se trabalhe junto com as empresas de tecnologia para o gerenciamento virtual em redes de computadores e, com isso, sejam coletados dados ligados ao tipo de geração de internet móvel usados por essas tecnologias inteligentes.

Portanto, a rede virtualizada e hiperconectada construída serviria ao sistema de transporte de massa na cidade inteligente e em sua mobilidade urbana, e passaria ser cobrada pela gestão compartilhada entre os agentes usuários e gestores pelo desempenho dos indicadores. De certa forma, a inclusão de comitês de representantes da academia, cidadãos, gestores públicos e empresas de tecnologias ao debate do planejamento urbano e da gestão urbano no plano diretor municipal de cada cidade pode gerar o efeito de neutralidade tecnológica que a ISO 37122 e Bria e Morozov (2020) pressupõem, evitando, assim, o solucionismo tecnológico em áreas de vulnerabilidade do transporte de massa.

Reencontrando os conceitos de Singh *et al*. (2020), a integração dos dispositivos físicos ao mundo cibernético por redes computacionais com dispositivos e sensores, pode fazer com que a infraestrutura dessa cidade evolua seus padrões de desempenho. Pode-se então colaborar com a ideia dos autores acima, adicionando nas listas de tecnologias inteligentes do modelo proposto, os "*Intelligent Transportation Systems*", já que essa tecnologia é formada em grande parte por computadores, sensores, câmeras e painéis eletrônicos de comunicação ao usuário e são conectados GPs, IOTs e IOSs.

Singh *et al*. (2020) contribuem ao modelo, descrevendo que a infraestrutura na

cidade inteligente é orientada por tecnologias da Indústria 4.0 como, IoT baseada em Aprendizado Profundo (*Deep Learning*), Blockchain, Armazenamento em Nuvem resolvendo problemas de latência de comunicação, centralização e escalabilidade dos aplicativos e sistemas informatizados utilizados. Portanto, no decorrer dos estudos do Artigo 2, *Available Technologies for Mass Transport Modes in Smart Cities,* na revisão de literatura é notado que as tecnologias inteligentes são descritas e utilizadas na cidade inteligente, mas também são utilizadas no transporte público e transporte de massa como ônibus, VLTs e metrôs.

Sobre as tecnologias inteligentes, o Artigo 1 demonstra que um de conjunto nove cidades, sendo quatro iberoamericanas espanholas, quatro iberoamericanas portuguesas e mais uma sulamericana brasileira “Santos” consomem as quatorze tecnologias de ITSs. Enquanto outras três cidades sulamericanas brasileiras consomem onze tipos de ITSs e as quatro cidades sulamericanas argentinas consomem nove tipos de ITSs. Fica evidente que existe um caminho para todas as cidades analisadas poderem adicionar novas tecnologias como as da Terceira e Quarta Revolução Industrial associadas aos ITSs para modernização tecnológica de sua estrutura de planejamento urbano virtual, que são apontadas em conexão dessa prática no Artigo 2 e pelos autores na revisão de literatura.

O Artigo 2 separa as tecnologias em dois grupos como inteligentes e sustentáveis e estrutura as tecnologias para sua validação em uma cidade inteligente. O modelo proposto aqui detalha os indicadores pelas tecnologias inteligentes e sustentáveis.

As tecnologias inteligentes que são elencadas no Artigo 3 adiciona um componente novo, a geração de conexão da internet móvel nessas cidades inteligentes, se 4G ou 5G. As gerações de internet (1G, 2G, 3G, 4G ou 5G) se tornam um diferencial para o desempenho das tecnologias inteligentes no transporte de massa em tempo e velocidade no tratamento e transformação de dados para informações. Além disso, esse artigo discute as fontes de energia para as tecnologias sustentáveis. Assim, esse artigo esclarece que a influência da internet nas tecnologias auxilia a classificar um sistema de transporte de massa inteligente e, também, evidencia a concentração dos tipos de fontes de energia nas cidades inteligentes.

Portanto, o modelo proposto nos Quadros 9, 10, 11 e 12 poderá ser usado para detalhar os indicadores de tecnologias inteligentes e sustentáveis (Artigo 2), entender a composição das tecnologias e fontes de energia e a influência das gerações de

internet móvel no desempenho do sistema de transporte de massa (Artigo 3). Esse modelo faz com que as cidades inteligentes possam alcançar patamares maiores de evolução dos seus sistemas de transporte de massa, graças à geração de sua internet móvel e sua diversificação com tecnologias da Terceira e da Quarta Revolução Industrial para a composição das tecnologias inteligentes.

Na segunda etapa do modelo proposto, com base em Ferraz e Torres (2004), Vuchic (2007) e Hoel et al. (2010) e no Artigo 2, a relação entre os usos de tecnologias sustentáveis e inteligentes permite elencar os principais atributos que os usuários, operadoras de transporte, empresas de tecnologia e secretarias de transporte e mobilidade urbana buscam melhorar.

1. Custo
2. Tempo
3. Conforto
4. Rapidez
5. Segurança
6. Pontualidade
7. Conectividade
8. Higiene (Sanitização)
9. Acessibilidade
10. Bem-Estar e Saúde

Esses atributos podem ser alocados a uma pesquisa de qualidade, tratando-os como indicadores da qualidade do transporte de massa pela perspectiva mais intrínseca do usuário que o utiliza. Dessa forma, após a aplicação da primeira etapa do modelo proposto, na etapa dois é sugerido que os atributos sejam mensurados.

O transporte de massa na cidade inteligente, sob a perspectiva do cidadão, pode encontrar estratégias no planejamento do transporte de melhorar continuamente esses atributos através de uma gestão compartilhada para a tomada de decisões (BREUER; WALRAVENS; BALLON, 2014) entre interesses *bottom-up* e *top-down* na cidade inteligente.

Outro ponto fundamental e útil para aplicação futura do modelo proposto em suas etapas é analisar com rigor a aplicação dos requisitos da norma ISO 37122 para cidades inteligentes, sustentáveis e resilientes. Dessa forma, existirá uma contribuição

racionalizada das tecnologias e indicadores para o desempenho assertivo dos resultados estimados de sustentabilidade e comunicação equânime dada a escala de classificação dessas tecnologias, propondo uma análise aprofundada do estágio de evolução de cada sistema de transporte de massa na cidade inteligente.

Essas tecnologias inteligentes e sustentáveis são vistas como parte da aplicação para melhorar a comunicação, desenvolvendo-se como Tecnologias de Comunicação e Informação (TICs), visto que esses indicadores estão associados a menores níveis de risco da cidade ao trânsito caótico e poluído, e a um serviço de transporte de massa mais adequado a mobilidade urbana através do seu acesso universal para todos irem para onde quiserem, de acordo com sua necessidade.

Existem críticas que este estudo levanta ao uso dos indicadores, como, por exemplo, se essas tecnologias abrangem todas as áreas geográficas das cidades inteligentes, abrangendo não só as zonas centroides (bairros do centro ou de zonas mais ricas por renda *per capita*) mas, também, bairros periféricos (bairros suburbanos ou comunidades de alta vulnerabilidade social). Outra questão é se essa tecnologia é distribuída de forma uniforme ou se ela é negligenciada por diversos fatores como o IDH, PIB per capita, oferta de infraestrutura (como descrito no Artigo 1).

Pode-se também refletir, é se essa tecnologia é atualizada constantemente através da manutenção, sendo esse um fator determinante na qualidade dos serviços prestados na cidade inteligentes descrito por Kim (2022). Segundo a perspectiva de Kim (2022), cabe as tecnologias inteligentes e sustentáveis e seus indicadores operarem para melhorar a qualidade dos atributos de quem os utiliza, como distância, custo, tempo etc., ou se as operadoras de transporte e gestores enfatizam e aplicam a compreensão da política de tecnologia criando formas de colaboração humana por meio dessas tecnologias a todos universalmente (MEIJER; BOLÍVAR, 2016).

Outra perspectiva é se sanadas as críticas sobre a governança do transporte de massa inteligente e sustentável, esses indicadores conseguiriam chegar próximo ao conceito de Fogel (1966) do que é inteligente, isto é, que a inteligência é a capacidade de um sistema adaptar um comportamento para atingir determinados objetivos em uma variedade de ambientes.

Outro aspecto é que cidades inteligentes conseguem assumir o perfil do transporte verde descrito por Nakanishi e Black (2015). As tecnologias e seus indicadores sustentáveis propostos pela tese tornam-se uma estratégia governamental, como parte do transporte público. O modelo proposto alinha-se ao

pensamento de Hickman, Hall e Banister (2013) para questões de uso racional dos recursos para os sistemas energéticos e para o contexto de redução das emissões de dióxido de carbono (CO_2).

O modelo de indicadores proposto, também, se sustenta na argumentação do conceito de Seabra (2013) em que a sustentabilidade em transportes consiste em atender as necessidades de acessibilidade e mobilidade atuais e futuras com reflexos positivos nas dimensões ambiental (governabilidade), econômica (competividade) e social (equidade). Por fim, o modelo proposto sugere uma comparação do cenário atual no transporte de massa, com o cenário futuro, em que é possível buscar um paralelo entre a cidade inteligente vislumbrada por Hall et al. (2000) o cenário e estágio atual.

O Quadro 13 traz a consolidação do modelo de forma analítica.

Quadro 13 - Proposição do Modelo Analítico de Classificação de Transporte Público para Cidades Inteligentes Baseado em Tecnologias

Tecnologias sustentáveis e inteligentes e seus indicadores		**Análise dos Atributos do Transporte de Massa**
Eixo: Sustentabilidade	Eixo: Inteligentes	1. Custo 2. Tempo 3. Conforto 4. Rapidez 5. Segurança 6. Pontualidade 7. Conectividade 8. Higiene (Sanitização) 9. Acessibilidade 10. Bem-Estar e Saúde
Tecnologias Sustentáveis	Tecnologias Inteligentes	
Eficiência Energética	Comunicação Equânime	
Escala de Classificação	Escala de Classificação	
% pessoas transportadas por dia	Tipo de geração de redes móveis	
Por modo de transporte de massa	-	
Classificação por Diversidade Tecnológica Sustentável	Classificação por Diversidade Tecnológica Inteligente	
% Uso Parcial a o Totalizado Sustentável	% Uso Parcial ao Totalizado Inteligente	

Fonte: O autor.

CAPÍTULO III

3.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta tese atingiu o objetivo pela proposição de um modelo de classificação de transporte público para cidades inteligentes baseado em tecnologias discutindo que é necessário deixar a patente dos indicadores e atributos para o uso de tecnologias inteligentes e sustentáveis para o transporte de massa.

Para atingi-lo, foi necessário responder as perguntas de pesquisa, as quais são discutidas na sequência.

3.1.2 Conclusões

À primeira parte da pergunta de pesquisa número 1 (1a), “Como a oferta de diferentes modos de transporte de massa pode gerar a melhoria da mobilidade aos usuários?”, responde-se que, com os resultados do Artigo 1, o diesel e o modo de transporte coletivo de ônibus predominam, apesar de existirem esforços para o uso de fontes de energia elétrica em VLTs, metrôs. A principal descoberta da metodologia SNA é que há espaço nas redes para a inclusão de mais tecnologias, como as tecnologias Indústria 4.0 e da Indústria 5.0, para aumentar a conectividade e a capilaridade das informações do transporte de massa.

A segunda parte da primeira pergunta (1b), “Até que ponto os dados econômicos e socioeconômicos podem ter correlação com os sistemas de transporte de massa nas cidades inteligentes?”, é respondida pelas análises gráficas do Artigo 1, em que se vê os impactos positivos e negativos em relação aos dados de transporte, tecnologias, econômicos e socioeconômicos tem correlações proporcionais ou inversamente proporcionais para o desempenho no transporte de massa nas cidades inteligentes.

Como impacto negativo, os investimentos muitas vezes são inversamente proporcionais a essas variáveis, causando um déficit de uma variável para outra no sistema de transporte de massa. No futuro, há possibilidade de explorar modelos de planejamento de transporte público que gerem proporcionalidade ao crescimento

contínuo entre modos de transporte de massa, tecnologias e dados econômicos e socioeconômicos. Como impacto positivo, algumas cidades inteligentes mantêm corretamente a proporcionalidade entre investimentos dessas variáveis, servindo de exemplos que podem ser adaptadas por outras cidades inteligentes no transporte de massa. Essa pesquisa contribuiu para estimular a busca de tecnologias disponíveis para o transporte de massa em cidades inteligentes de próxima geração no Artigo 2.

A segunda pergunta de pesquisa, “Quais tecnologias atualmente pesquisadas serão aplicadas num futuro próximo em larga escala no sistema de transporte público de cidades inteligentes? “, é respondida com o Artigo 2, que faz uma revisão da literatura de tecnologias inteligentes e sustentáveis utilizadas no transporte público em cidades inteligentes. São tecnologias inteligentes que melhoraram o desempenho autônomo dos ônibus, e capturam dados dos veículos e usuários para processamento de informações na tomada de decisão de oferta dos serviços inteligentes no transporte público.

São discutidas questões sobre tecnologias e mobilidade inteligente e reflete-se sobre a tecnologias e mobilidade sustentável para o sistema de transporte de massa. Essas tecnologias foram agrupadas em duas classes. A primeira classe de tecnologias inteligentes é composta por tecnologias de ITS, de Terceira e Quarta Revolução Industrial. Enquanto a segunda classe é composta de fontes de energias alternativas e renováveis disponíveis ao uso nos modos de transporte. É evidenciada a cooperação entre as tecnologias de Terceira e Quarta Revolução Industrial e Indústria 5.0 em prol de melhorias no desempenho do sistema de transporte de massa através do processo de virtualização e conectividade da mobilidade urbana para o transporte público. Essa pesquisa contribuiu como inspiração ao estudo de caso múltiplo sobre concentração, composição e diversificação dessas tecnologias disponíveis no transporte de massa em cidades inteligentes com perfil metropolitano no Artigo 3.

A terceira pergunta da pesquisa, “A composição, concentração e classificação dos sistemas de transporte de massa de uma cidade podem auxiliar a identificar em que estágio ela esteja, e qual a predominância, quais tecnologias e fontes de energia ela possui?”, é respondida a partir do Artigo 3, pelo estudo de caso múltiplo das cidades inteligentes com perfil metropolitano. Essas cidades caminham para o uso de tecnologias inteligentes e sustentáveis vistas no Artigo 2, associadas agora aos *Intelligent Transportation Systems* (ITS), buscando a digitalização dos dados da

comunicação nos serviços de transporte de massa. Por outro lado, existe a redução dos impactos ao meio ambiente, com o uso de fontes de energias alternativas e renováveis. Entretanto, a diferença entre as cidades europeias e as cidades sul-americanas está no volume de tecnologias inteligentes e sustentáveis disponíveis. Independente se for maior ou menor o grau de concentração no sistema de transporte e na sua composição das tecnologias. Essas tecnologias disponíveis afetam sensivelmente o indicador de mobilidade inteligente nas cidades. Analisando os indicadores socioeconômicos, econômicos, o *ranking* das cidades inteligentes e o estudo de caso múltiplo, o resultado revela que a classificação tecnológica do transporte de massa para essas cidades inteligentes contribui para conscientização do uso das tecnologias ao usuário, melhorando a mobilidade inteligente, e para os investimentos na infraestrutura do sistema de transporte de massa.

Portanto, o transporte de massa nas cidades inteligentes necessita de investimentos contínuos em diversificação dos modos de transporte de massa, aplicação concentrada de tecnologias em áreas urbanas e metropolitanas, utilização de maneira adaptativa e disruptiva em sua oferta para as pessoas/cidadãos que desempenham o papel de usuários desses serviços. O Artigo 3 colaborou com a consolidação e reforço do uso das tecnologias inteligentes e sustentáveis disponíveis nas cidades inteligentes. E, com isso, impulsionou para a criação e aprofundamento dos indicadores relacionados as duas classes de tecnologias desenvolvidos na seção de resultados e discussão trazendo em si a visualização completa do modelo.

O quarto questionamento, “Como seria possível mapear, caracterizar períodos históricos do transporte público e propor um modelo classificação por tecnologias inteligentes e sustentáveis para o transporte de massa em cidades inteligentes?”, é respondido, inicialmente, pela subseção “Síntese do referencial teórico resumido”. Foram encontradas as quatro dimensões da evolução do transporte de massa como, a dimensão um, criação dos modos de transporte de massa, a dimensão dois, comunicação com o usuário no transporte de massa, a dimensão três, governança no transporte de massa, e a dimensão quatro, fonte de energia e sustentabilidade no transporte de massa.

O conteúdo da seção de resultados e discussão está relacionado à pergunta quatro, colaborando para organizar a evolução do transporte de massa nos últimos duzentos em quatro estágios históricos associados as invenções que priorizavam e priorizam a melhoria de comunicação entre os usuários do transporte e as fontes de

energias não renováveis, renováveis e alternativas em cada período, em momentos como, mais ou menos tecnológicos e/ou mais ou menos poluentes.

Esses momentos com essa variação entre mais ou menos tecnológicos e/ou mais ou menos poluentes identificados historicamente no transporte público são estruturados e esclarecidos como estágios. O primeiro estágio aconteceu no século XIX com tecnologias de mecanização com energia a vapor, o segundo estágio aconteceu no início do século XX e meados do século XX com tecnologias de eletrificação com urbanização, o terceiro estágio aconteceu nos meados do século XX e início do século XXI com tecnologias eletrônicas e energias não renováveis com o combustível fóssil e no quarto estágio acontecem no final do século XX e início do século XXI com tecnologias de digitalização e energias alternativas e renováveis. Nesse caso, para o transporte de massa ao longo do tempo existe o conceito e a consolidação dos termos sustentabilidade (fontes de energias alternativas e renováveis) e comunicação equânime (tecnologias inteligentes operando como TICs) para o transporte público, e em perspectiva específica ao estudo no transporte de massa.

O sistema de transporte urbano de passageiros é, em parte, preocupação do planejamento urbano, no qual o sistema de transporte de massa formado por ônibus, VLTs e metrôs tornou-se vital para que a cidade inteligente consiga oferecer seus serviços de locomoção atualizados ao usuário, usando comunicação e sendo menos poluentes ao meio ambiente e, dessa maneira, gerando melhor desempenho para a mobilidade urbana a partir da análise de suas dimensões e estágios históricos da evolução do transporte de massa.

A principal contribuição desta tese é a criação de um modelo para entender a posição de uma cidade inteligente em relação a uma escala de uso de fontes de energia sustentáveis e de uso de tecnologias inteligentes relacionáveis ao seu papel de TICs, sendo notável o esforço de uso dessas tecnologias para a comunicação equânime, eficiência energética e gestão pública democrática.

O modelo proposto estimula o aumento da neutralidade tecnológica, a diminuição do solucionismo tecnológico para o atendimento de áreas urbanas vulneráveis, sem o devido de transporte de massa prestado ao cidadão e o com o aumento da qualidade dos atributos do transporte público através da perspectiva do usuário. De um lado prático e futuro, esse modelo em cooperação com as normas de padronização existentes para cidades inteligentes, sustentáveis e resilientes pode

contribuir para o planejamento urbano organizado, planos diretores efetivos, ou mesmo a documentos similares aos municípios sobre a temática transporte público.

A identificação dos estágios tecnológicos em que a cidade possa estar atualmente auxilia no planejamento e na implantação de novos planos diretores, condizentes com o uso das tecnologias disponíveis.

O estudo cumpre o papel de criar um modelo de diagnóstico de tecnologias que possam ser implantadas ao longo do tempo no transporte público de massa. Levando em consideração que a tecnologia necessita servir o cidadão e ser emancipatória, a mobilidade urbana deve ser democrática e não escravizadora — isto é, a favor das empresas de tecnologia que apenas busquem a lucratividade, ou não apenas a gestão política—, mas ter a gestão pública compartilhada em suas decisões. Sua configuração e composição eficiente e sustentável é composta pelos modos de transporte diverso e com tecnologias autônomas e menos poluentes. Dessa maneira, o sistema de transporte de massa pode estar próximo do modelo de uma cidade ideal, atualmente chamado de cidades inteligentes e sustentáveis certificadas.

O papel das tecnologias inteligentes ou autônomas no transporte urbano de massa é disponibilizar as informações para os usuários, atendendo as suas necessidades de mobilidade urbana. Através de dados tratados por redes de Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) para que esses usuários possam optar pelo transporte público, tendo acesso ao seu direito universal à conectividade.

O papel das tecnologias sustentáveis em fontes de energia é modificar o sistema produtivo dos modos de transporte de massa para que os sistemas de consumo de combustíveis, sejam menos nocivos e degradantes ao meio ambiente e à saúde humana nos centros urbanos e metropolitanos, através da redução da poluição atmosférica e sonora.

As duas principais limitações do estudo desta tese são, em primeiro lugar, o fato de o modelo completo não ter sido submetido o modelo para a análise de uma coordenadoria, diretoria ou secretaria de transporte ou mobilidade de uma cidade inteligente para validação crítica.

A segunda limitação é o modelo não ter sido implantado e testado de forma prática e um plano diretor de alguma cidade inteligente, levando em consideração a análise sobre a gestão pública compartilhada entre aspectos de agentes *bottom-up* e *top-down* como decisores.

3.1.2 Recomendações de trabalhos futuros

Para trabalhos futuros, são considerados trabalhos empíricos, de aplicações em cidades e países para analisar o comportamento do modelo e sua evolução a fim de certificar essas cidades inteligentes em relação ao seu transporte de massa.

Referências

ALAVI, Amir H. et al. Internet of Things-enabled smart cities: State-of-the-art and future trends. **Measurement,** v. 129, p. 589-606, 2018.

AWADHI Al: ALDAMA-NALDA, S., CHOURABI, A., GIL-GARCIA H., R. J., LEUNG, S., MELLOULI, S. **Building understanding of smart city initiatives**. Berlin: Springer. In Electronic Government. 2012. p. 40 – 53.

ANTHOPOULOS, Leonidas; FITSILIS, Panos. From digital to ubiquitous cities: Defining a common architecture for urban development. In: **2010 Sixth International Conference on Intelligent Environments**. IEEE, 2010. p. 301-306.

BARRERO, Ricardo; VAN MIERLO, Joeri; TACKOEN, Xavier. Energy savings in public transport. **IEEE vehicular technology magazine**, v. 3, n. 3, p. 26-36, 2008.

BARTER, Paul; KENWORTHY, Jeff; LAUBE, Felix. Lessons from Asia on sustainable urban transport. In: **Making urban transport sustainable**. Palgrave Macmillan, London, 2003. p. 252-270.

BENEVOLO, L. **História da Cidade**. São Paulo: Editora Perspectiva, 1999.

BREUER, Jonas; WALRAVENS, Nils; BALLON, Pieter. Beyond defining the smart city. Meeting top-down and bottom-up approaches in the middle. **TeMA-Journal of Land Use, Mobility and Environment**, 2014.

BRENNA, Morris et al. Utilization of E-Bus Applied to Urban Lines. In: **2019 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)**. IEEE, 2019. p. 651-655.

BRIA, Francesca; MOROZOV, Evgeny. **A cidade inteligente: tecnologias urbanas e democracia**. Ubu Editora, 2020.

BRUNTON, L. J. Why not the trolleybus?. In: **IEE Seminar Electric, Hybrid and Fuel Cell Vehicles (Ref. No. 2000/050)**. IET, 2000. p. 5/1-5/7.

BUNCH, James *et al.* Review of existing literature and deployment tracking surveys: Decision factors influencing ITS adoption. 2012.

BUCHER, Dominik et al. From location tracking to personalized eco-feedback: A framework for geographic information collection, processing and visualization to promote sustainable mobility behaviors. **Travel behaviour and society**, v. 14, p. 43-56, 2019.

CARAGLIU, Andrea; DEL BO, Chiara F. Smart innovative cities: The impact of Smart City policies on urban innovation. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 142, p. 373-383, 2019.

CORREA, G.; MUÑOZ, P. M.; RODRIGUEZ, C. R. A comparative energy and environmental analysis of a diesel, hybrid, hydrogen and electric urban bus. **Energy**,

v. 187, p. 115906, 2019.

DALLMANN, Tim; FAÇANHA, Cristiano. **Riscos Ambientais da Dieselização dos Veículos Leves**. 2016.

DE OLIVEIRA NETO, João Soars; KOFUJI, Sergio Takeo. Inclusive Smart City: Expanding design possibilities for persons with disabilities in the urban space. In: **2016 IEEE International Symposium on Consumer Electronics (ISCE)**. IEEE, 2016. p. 59-60.

DEUTSCHES MUSEUM, 2020. Disponível em: <https://www.dhm.de/>. Acesso em: 08 de ago. 2020.

DI PALMA, Catello et al. Driver Assistance System for Trams: Smart Tram in Smart Cities. In: **2020 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2020 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe)**. IEEE, 2020. p. 1-6.

DIMITRAKOPOULOS, G.; UDEN, L.; VARLAMIS, I. Intelligent transport systems and smart mobility. **The Future of Intelligent Transport Systems**, p. 199-205, 2020.

DROEGE, Peter (Ed.). **Intelligent environments: spatial aspects of the information revolution**. Elsevier, 1997.

DUARTE, Fábio. **Planejamento urbano**. Editora Ibpex, 2009.

ENCYCLOPEDIA BRITANNICA (2019). Disponível em: <https://www.britannica.com/topic/mass-transit/Trip-characteristics>. Acesso em: 01 de mai. 2019.

ELMA, Onur; GABBER, Hossam A. Flywheel-based ultra-fast on-route charging system for public E-Buses. In: **2020 International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE)**. IEEE, 2020. p. 1-4.

FERGUSON, Mark; MOHAMED, Moataz; MAOH, Hanna. On the Electrification of Canada's Vehicular Fleets: National-scale analysis shows that mindsets matter. **IEEE Electrification Magazine**, v. 7, n. 3, p. 55-65, 2019.

FERRAZ, A. C. P.; TORRES, I. G. E. **Transporte público urbano**. São Carlos: Rima, 2004.

FOGEL, L. J.; OWENS, A. J.; WALSH, M. J. Artificial Intelligence through Simulated Evolution, J. Wiley & Sons. **Inc., London, New York, Sidney**, 1966.

GABBAR, Hossam A. et al. Improved Performance of Flywheel Fast Charging System (FFCS) Using Enhanced Artificial Immune System (EAIS). **IEEE Systems Journal**, v. 14, n. 1, p. 824-831, 2019.

GIFFINGER, Rudolf; PICHLER-MILANOVIĆ, Nataša. **Smart cities: Ranking of European medium-sized cities**. Centre of Regional Science, Vienna University of

Technology, 2007.

GLASS, Ruth. **London: aspects of change**. MacGibbon & Kee, 1964.

GOMIDE, Alexandre de Ávila. **Agenda governamental e o processo de políticas públicas: o projeto de lei de diretrizes da política nacional de mobilidade urbana**. Texto para Discussão, 2008.

HALL, Robert E. *et al.* **The vision of a smart city**. Brookhaven National Lab., Upton, NY (US), 2000.

HAMLYN, Paul. Buses, Trolleys & Trams. **The Hamlyn Publishing Group Ltd**, 1968.

HASEGAWA, T. A design theory for new transport systems. **IATSS Review**, v. 37, n. 3, p. 224-232, 2013.

HASEGAWA, Takaaki. On systematization on the ITS field. **Journal of Institute of Electronics, Information and Communication Engineers.** 2005, ed. 104), vol. 762, p. 47-52.

HASEGAWA, Takaaki. Diffusion of electric vehicles and novel social infrastructure from the viewpoint of systems innovation theory. **IEICE transactions on fundamentals of electronics, communications and computer sciences**, v. 93, n. 4, p. 672-678, 2010.

HASEGAWA, Takaaki *et al.* Positioning Social Infrastructures from the Viewpoint of Systems Innovation--Applications and Smartphone Positioning Using GPS/Wi-Fi/BS. **IEICE Technical Report; IEICE Tech. Rep.**, v. 113, n. 491, p. 69-78, 2014.

HATUKA, Tali et al. The political premises of contemporary urban concepts: The global city, the sustainable city, the resilient city, the creative city, and the smart city. **Planning Theory & Practice**, v. 19, n. 2, p. 160-179, 2018.

HE, Y. L., Liu, Z & Song, Z. Optimal charging scheduling and management for a fast-charging battery electric bus system, **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 142, 2020.

HICKMAN, Robin; HALL, Peter; BANISTER, David. Planning more for sustainable mobility. **Journal of Transport Geography,** v. 33, p. 210-219, 2013.

HOEL, Lester A. *et al.* Transportation Infrastructure Engineering: A Multimodal Integration, SI Version. **Cengage Learning**, 2010.

HOLLAND, Stephen P. et al. The environmental benefits of transportation electrification: Urban buses. **Energy policy**, v. 148, p. 111921, 2021.

Hollands, R. G. Will the real smart city please stand up? **City**. v. 2. 2008. p. 303–320.

IBRAHIM, Maysoun; ADAMS, Carl; EL-ZAART, Ali. Paving the way to smart sustainable cities: Transformation models and challenges. **JISTEM-Journal of Information Systems and Technology Management**, v. 12, p. 559-576, 2015.

INDOVINA, Francesco. La ciudad difusa. In MARTIN RAMOS (ed.) Lo urbano en 20 autores contemporáneos. Barcelona: Edicions UPC; ETSAB, 2004, p. 49-59.

ISHIDA, Toru; ISBISTER, Katherine (Ed.). **Digital cities: technologies, experiences, and future perspectives**. Springer Science & Business Media, 2000.

ISO. ISO 37122 Sustainable development in communities - Indicators for Smart Cities. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/69050.html> Acesso em: 15 març. 2019.

JANG, Myungjun; SUH, Soon-Tak. U-city: new trends of urban planning in Korea based on pervasive and ubiquitous geotechnology and geoinformation. In: **International conference on computational science and its applications**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010. p. 262-270.

JOSHI, Sujata et al. Developing smart cities: An integrated framework. **Procedia Computer Science**, v. 93, p. 902-909, 2016.

JUSTINO, Júlio CG et al. Aspects of the operation of regular ultra fast charging e-Bus in high grade BRT routes. In: **IECON 2014-40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society**. IEEE, 2014. p. 3101-3107.

KADAM, Anilkumar J. et al. Developing a Smart Bus for Smart City using IOT Technology. In: **2018 Second International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)**. IEEE, 2018. p. 1138-1143.

KE, Bwo-Ren et al. Battery charging and discharging scheduling with demand response for an electric bus public transportation system. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 40, p. 100741, 2020.

KHOEBLAL, Roman; LAOHAPENSAENG, Teeravisit; CHAISRICHAROEN, Roungsan. Passenger monitoring model for easily accessible public city trams/trains. In: **2015 12th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)**. IEEE, 2015. p. 1-6.

KIM, JungHoon. Smart city trends: A focus on 5 countries and 15 companies. **Cities**, v. 123, p. 103551, 2022.

KNEIB, Erika Cristine; TEDESCO, Giovanna Megumi Ishida. Sustentabilidade Energética do Transporte Público Urbano: Diretrizes para o Brasil. **Biblio 3w: revista bibliográfica de geografía y ciencias sociales**, 2010.

KNOX, Vesey. The Economic Effect of the Tramways Act of 1870. **The Economic Journal**, v. 11, n. 44, p. 492-510, 1901.

KOMNINOS, Nicos. **Intelligent cities and globalisation of innovation networks**. Routledge, 2008.

LEE, Ji Hee et al. Resilience: a meta-analytic approach. **Journal of counseling & development**, v. 91, n. 3, p. 269-279, 2013.

LEE, Jung Hoon; HANCOCK, Marguerite Gong; HU, Mei-Chih. Towards an effective framework for building smart cities: Lessons from Seoul and San Francisco. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 89, p. 80-99, 2014.

LEEM, Choon Seong; KIM, Byoung Gun. Taxonomy of ubiquitous computing service for city development. **Personal and ubiquitous computing**, v. 17, n. 7, p. 1475-1483, 2013.

LI, Yan et al. Modeling and analysis on coordinated scheduling of E-bus recharging station participated wind-power generation. In: **Proceedings of the 32nd Chinese Control Conference**. IEEE, 2013. p. 8592-8596.

LIBERTO, Carlo et al. The impact of electric mobility scenarios in large urban areas: The rome case study. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, v. 19, n. 11, p. 3540-3549, 2018.

LIN, Shu Hui et al. A New e-Bus System Using Two-Way Government Radio Networks. **IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine**, v. 8, n. 1, p. 51-60, 2016.

LONDON TRANSPORT MUSEUM, 2020. Disponível em: <https://www.ltmuseum.co.uk>. Acesso em: 15 de jul.2020.

LOM, Michal; PRIBYL, Ondrej; SVITEK, Miroslav. Industry 4.0 as a part of smart cities. In: **2016 Smart Cities Symposium Prague (SCSP)**. IEEE, 2016. p. 1-6.

LV, Yongbo et al. Optimizing the bus operation plan Based on Deep Learning. **Microprocessors and Microsystems**, p. 104042, 2021.

MAHMOUD, Moataz et al. Electric buses: A review of alternative powertrains. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 62, p. 673-684, 2016.

MAJUMDER, Suman et al. A green public transportation system using E-buses: A technical and commercial feasibility study. **Sustainable Cities and Society**, v. 51, p. 101789, 2019.

MARIANO, Jacqueline Barboza. Eficiência Energética no Setor de Transportes da União Europeia. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico. **Estudo Temático**, p.1-29, 2014.

MEIJER, Albert; BOLÍVAR, Manuel Pedro Rodríguez. Governing the smart city: a review of the literature on smart urban governance. international review of

administrative sciences, v. 82, n. 2, p. 392-408, 2016.

MEISHNER, Fabian; SATVAT, Bonjad; SAUER, Dirk Uwe. Battery electric buses in European cities: economic comparison of different technological concepts based on actual demonstrations. In: **2017 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)**. IEEE, 2017. p. 1-6.

MORENO, M. Victoria et al. Applicability of big data techniques to smart cities deployments. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 13, n. 2, p. 800-809, 2016.

MOSCO, Vincent. **The smart city in a digital world**. Emerald Group Publishing, 2019.

MOURATIDIS, Kostas; SERRANO, Victoria Cobeña. Autonomous buses: Intentions to use, passenger experiences, and suggestions for improvement. **Transportation research part F: traffic psychology and behaviour**, v. 76, p. 321-335, 2021.

MUSÉE DES TRANSPORTS URBAINS. Disponível em:<https://amtuir.org/>. Acesso em: 07 dez. 2020.

MUSEU VIRTUAL DO TRANSPORTE, 2020. Disponível em: <https://www.sptrans.com.br/museu-virtual>. Acesso em: 21 de set.2020.

MUSEUM VERKEHRSHAUS DER SCHWEIZ, 2020. Disponível em: <https://www.verkehrshaus.ch/en/visit/museum.html>. Acesso em: 07 de out. 2020.

MUTHUSELVI, M., ABI, MA., ARTHIT, VA; DEIVANAYAGI MS.. **An Intelligent Bus System Based on Internet of Things for Urban International**. Journal of Computer Sciences and Engineering Environments. 2019, Ed.7, Vol. 3, p. 12-18.

NAKANISHI, Hitomi; BLACK, John. Social sustainability issues and older adults' dependence on automobiles in low-density environments. **Sustainability**, v. 7, n. 6, p. 7289-7309, 2015.

NAM, Taewoo; PARDO, Theresa A. Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. In: **Proceedings of the 12th annual international digital government research conference: digital government innovation in challenging times**. 2011. p. 282-291.

NUNES, Raquel Renno. Smart cities e big data: o cidadão produtor de dados. **URBS. Revista de Estudios Urbanos y Ciencias Sociales**, v. 6, n. 2, p. 9-12, 2016.

NEW YORK TRANSIT MUSEUM, 2020. Disponível em: <https://www.nytransitmuseum.org/>. Acesso em: 27 de out.2020.

NEWMAN, Peter. Global Cities, Transport, Energy and the Future: Will Ecosocialization Reverse the Historic Trends?. In: **Making urban transport sustainable**. Palgrave Macmillan, London, 2003. p. 25-41.

NOWACKI, Gabriel. Development and standardization of intelligent transport systems. **International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation**, v. 6, n. 3, p. 403-411, 2012.

NWAGOBOSO, C.O. Advanced Vehicle and Infrastructure Systems; Computer Application, Control and Automation. England. Cap.1 Introduction to Intelligent Transport Systems, p. 3-32. Editora John Willey &Sons Ltd, 1997.

OXFORD LEARNER´S DICTIONARIES, 2022. Disponível em: < https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/definition/american_english/dimension>. Acesso em: 05 de jan. 2022.

PAGNOULLE, Christine. POOLE, Steven, 'Les villes intelligentes, menace pour la démocratie?'. **Dérivations: pour le Débat Urbain**, v. 2, p. 236-241, 2016.

PAPA, Rocco et al. Smart and resilient cities. A systemic approach for developing cross-sectoral strategies in the face of climate change. **TeMA Journal of Land Use, Mobility and Environment**, v. 8, n. 1, p. 19-49, 2015.

PETROLO, Riccardo; LOSCRI, Valeria; MITTON, Nathalie. Towards a smart city based on cloud of things. In: **Proceedings of the 2014 ACM international workshop on Wireless and mobile technologies for smart cities**. 2014. p. 61-66.

PIAZZA, G. et al. Integration of electric mobility services within an existing polygeneration microgrid. In: **2019 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2019 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe)**. IEEE, 2019. p. 1-6.

POLLINS, Harold. British horse tramway company accounting practices, 1870–1914. **Accounting, Business & Financial History**, v. 1, n. 3, p. 279-302, 1991.

POSTRÁNECKÝ, Michal; SVÍTEK, Miroslav. Smart city near to 4.0—an adoption of industry 4.0 conceptual model. In: **2017 Smart City Symposium Prague (SCSP)**. IEEE, 2017. p. 1-5.

RAYMUNDO, Helcio; ENGENHARIA, R. B. Mobilidade no Brasil–avanços e retrocessos. In: **19º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito. Brasília**. 2013.

RAYMUNDO, H. Conceito de BRT, Estado da Arte e Desafios. **Revista SETNEWS, Ano**, v. 19, 2010.

RAYMUNDO, H. **Minimizing passenger transport disutilities: a methodology to measure quality and performance**. 2018. Tese de Doutorado. Doctoral Dissertation). Paulista University, Brazil.

RIZZON, Fernanda *et al.* Smart City: um conceito em construção. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade (ISSN 2318-3233)**, v. 7, n. 3, p. 123-142, 2017.

SCHMUCKI, Barbara. The machine in the city: public appropriation of the tramway in

Britain and Germany, 1870–1915. **Journal of Urban History**, v. 38, n. 6, p. 1060-1093, 2012.

SEABRA, Luciany Oliveira; TACO, Pastor Willy Gonzales; DOMINGUEZ, Emílio Merino. Sustentabilidade em transportes: do conceito às políticas públicas de mobilidade urbana. **Revista dos Transportes Públicos-ANTP**, v. 35, n. 134, p. 103-124, 2013.

SHAHEEN, S.; FINSON, R. Intelligent Transportation Systems. UC Berkeley: Transportation Sustainability Research Center. 2013.

SHAIKH, Muhammad Kashif et al. Using eBus Services Solution, Book Anywhere to Save Time. In: **2020 International Conference on Information Science and Communication Technology (ICISCT)**. IEEE, 2020. p. 1-7.

SINGH, Bhupendra; GUPTA, Ankit. Recent trends in intelligent transportation systems: a review. **Journal of Transport Literature**, v. 9, p. 30-34, 2015.

SONI, Sarang R.; UPADHYAY, Chetan D. Charge management in HSS for E-Bus. In: **2016 International Conference on Signal Processing, Communication, Power and Embedded System (SCOPES)**. IEEE, 2016. p. 893-898.

STEVENTON, Alan; WRIGHT, Steve (Ed.). **Intelligent spaces: The application of pervasive ICT**. Springer Science & Business Media, 2010.

SUSSMANN, Joseph. A short history Perspectives on Intelligent Transportation Systems (ITS). Perspectives on Intelligent Transportation Systems (ITS), by J.M. Sussman. X, p.229, Berlin: Springer, 2005.

TESAR, Markus et al. Design Methodology for the Electrification of Urban Bus Lines with Battery Electric Buses. **Transportation Research Procedia**, v. 48, p. 2038-2055, 2020.

TROLLEYBOOKS. 2021. Disponível em: <http://www.trolleybooks.co.uk/lombardtrolleybuses.html>. Acesso em 10 de feve. 2021.

URBAN RAIL, 2020. Disponível em: < http://urbanrail.net/>. Acesso em: 12 de dez.2020.

US FHWA, 2022. What have we learned about intelligent transportation systems? **US Federal Highway Administration Report**, Washington, DC.

UTSUMI, Hiroshi et al. E-Bus for Akita Prefecture, Japan. **World Electric Vehicle Journal**, v. 6, n. 1, p. 241-244, 2013.

VALENTI, Gaetano et al. The impact of battery electric buses in public transport. In: **2017 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe)**. IEEE, 2017. p. 1-5.

VELAQUEZ, S. M. S. G. et al. Project BEST—Bioethanol for Sustainable Transport—And the public policies of encouragement to ethanol usage. In: **2011 International Conference on Electrical and Control Engineering**. IEEE, 2011. p. 4870-4873.

VUCHIC, Vukan R. **Urban transit systems and technology**. John Wiley & Sons, 2007.

XYLIA, Maria; IBRAHIM, Osama; SILVEIRA, Semida. Fossil-free public transport: Prescriptive policy analysis for the Swedish bus fleets. In: **2016 13th International Conference on the European Energy Market (EEM). IEEE**, 2016. p. 1-5.

WANG, Hao et al. Detecting transportation modes with low-power-consumption sensors using recurrent neural network. In: **2018 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced & Trusted Computing, Scalable Computing & Communications, Cloud & Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovation (SmartWorld/SCALCOM/UIC/ATC/CBDCom/IOP/SCI)**. IEEE, 2018a. p. 1098-1105.

WANG, Jinzhong et al. STLoyal: A spatio-temporal loyalty-based model for subway passenger flow prediction. **IEEE Access**, v. 6, p. 47461-47471, 2018b.

WALRAVENS, Nils; BREUER, Jonas; BALLON, Pieter. Open data as a catalyst for the smart city as a local innovation platform. **Communications & Strategies**, n. 96, p. 15, 2014.

WASHBURN, Doug et al. Helping CIOs understand “smart city” initiatives. **Growth**, v. 17, n. 2, p. 1-17, 2009.

WHITE, PETER. **Public Transport: Its Planning**, Management, and Operation. Taylor & Francis, 2002.

YOVANOF, Gregory S.; HAZAPIS, George N. An architectural framework and enabling wireless technologies for digital cities & intelligent urban environments. **Wireless personal communications**, v. 49, n. 3, p. 445-463, 2009.

ZHANG, Chengwei; TAO, Ji; CHENG, Yu. Research on optimal electrification selection and sequence scheme model of city's bus routes. In: **2017 IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)**. IEEE, 2017. p. 1-6.