

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

CURSO DE MESTRADO EM GEOTECNIA E TRANSPORTES

**DIRETRIZES E PROCEDIMENTOS PARA A
IMPLANTAÇÃO DE TRANSPORTE SOB DEMANDA
COMPARTILHADO E COMPLEMENTAR À REDE
CONVENCIONAL DE TRANSPORTE COLETIVO**

Gustavo Wagner Nunes Balieiro

Belo Horizonte

2022

Gustavo Wagner Nunes Balieiro

**DIRETRIZES E PROCEDIMENTOS PARA A
IMPLANTAÇÃO DE TRANSPORTE SOB DEMANDA
COMPARTILHADO E COMPLEMENTAR À REDE
CONVENCIONAL DE TRANSPORTE COLETIVO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Geotecnia e Transportes da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geotecnia e Transportes.

Área de concentração: Transportes

Orientador: Professor Dr. Marcelo Franco Porto

Coorientadora: Professora Dra. Leise Kelli de Oliveira

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2022

B186d

Balieiro, Gustavo Wagner Nunes.

Diretrizes e procedimentos para a implantação de transporte sob demanda compartilhado e complementar à rede convencional de transporte coletivo [recurso eletrônico] / Gustavo Wagner Nunes Balieiro. – 2022.

1 recurso online (104 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: Marcelo Franco Porto.

Coorientadora: Leise Kelli de Oliveira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Apêndices: f. 98-104.

Bibliografia: f. 84-97.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Transportes - Teses. 2. Modelagem de sistemas - Teses.
3. Transportes coletivos - Teses. I. Porto, Marcelo Franco. II. Oliveira, Leise Kelli de. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.

CDU: 656(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE MESTRADO EM GEOTECNIA E TRANSPORTES

FOLHA DE APROVAÇÃO

Diretrizes e procedimentos para implantação de sistema sob demanda complementar à rede convencional de transporte coletivo.

GUSTAVO WAGNER NUNES BALIEIRO

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós- Graduação em GEOTECNIA E TRANSPORTES, como requisito para obtenção do grau de Mestre em GEOTECNIA E TRANSPORTES, área de concentração TRANSPORTES.

Aprovada em 23 de março de 2022, pela banca constituída pelos membros:

Prof. Marcelo Franco Porto - Orientador (UFMG)
Prof.ª. Leise Kelli de Oliveira - Coorientadora (UFMG)
Prof. Ronaldo Guimarães Gouvêa (UFMG)
Prof.ª. Renata Maria Abrantes Baracho Porto (UFMG)
Prof.ª Taciana de Lemos Dias (UFES)

Belo Horizonte, 23 de março de 2022.



Documento assinado eletronicamente por **Taciana de Lemos Dias, Usuário Externo**, em 23/03/2022, às 12:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Leise Kelli de Oliveira, Professora do Magistério Superior**, em 23/03/2022, às 12:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcelo Franco Porto, Professor do Magistério Superior**, em 23/03/2022, às 12:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Renata Maria Abrantes Baracho Porto, Professora do Magistério Superior**, em 23/03/2022, às 15:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ronaldo Guimarães Gouvêa, Professor do Magistério Superior**, em 29/03/2022, às 13:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 1308470 e o código CRC 4C3BDE1F.

AGRADECIMENTOS

A jornada é tão ou mais importante que o resultado em si, por isso não é possível esquecer de todo caminho e das pessoas que influenciaram de alguma forma na construção da pessoa que estou me tornando. Primeiramente obrigado a meus pais por sempre me apoiarem, acreditarem e proporcionarem oportunidades que tornou tudo muito mais fácil.

Aos meus irmãos e amigos que fazem tudo mais leve e divertido.

A todas as pessoas ligadas à Planum e a Aequante que não apenas me desafiam profissionalmente, mas facilitam minha vida e acreditam nas minhas maluquices. Especialmente ao meu pai, ter uma referência técnica dentro de casa e querer me tornar uma autoridade na área é grande responsabilidade dele.

A todos os parceiros profissionais e amigos da mobilidade, que não apenas trabalham em prol de um transporte melhor mas acreditam em um trabalho árduo e sem atalhos para mudança da realidade brasileira.

Ao meu orientador Professor Marcelo pela paciência com minha dificuldade em escrita e dedicação em conduzir uma orientação tão complexa durante a pandemia. Obrigado a minha co-orientadora Professora Leise em me refinar e me ajudar a enxergar um mundo científico que pode ser suporte ao profissional.

Obrigado imensamente a todas as referências técnicas, pessoas que passaram na minha vida profissional e acadêmica me ajudando não apenas a melhorar, mas acreditar em um caminho diferente. Especialmente obrigado ao Zenilton e Elaine que cada um com sua chibata me levaram a um outro nível.

E obviamente obrigada a minha Lolo por não apenas ter paciência com a infinidade de responsabilidades que assumimos, mas me apoiar para que cada desafio saia no seu tempo sem deixar de lado a linda família que formamos.

“Uma pessoa de talento não nasceu para se desenvolver sozinha, mas para se dedicar às artes e aos bons mestres, que a transformarão em algo melhor”

Johann Peter Eckermann *in* Conversações com Goethe

RESUMO

Considerando que sistema de transporte público convencional necessita de uma mudança de estrutura tarifária, é necessário alternativas para diminuir as ineficiências e custos do sistema convencional. Para isso, uma alternativa é a adoção de sistemas responsivos à demanda (DRT – do inglês Demand Responsive Transport). Nesse contexto, essa dissertação apresenta as diretrizes e procedimentos para viabilizar a implantação de sistemas sob demanda complementares à rede convencional de transportes. Essas diretrizes passam pela identificação, tratamento e relacionamento dos dados, avaliação desse conjunto de dados a partir de ferramenta BI, criação de áreas de serviço e modelagem do sistema sob demanda em ambiente de simulação para obtenção do desempenho do sistema. Assim, foi possível propor um modelo específico, o transporte compartilhado sob demanda (TcsD), a partir da área de serviço e estrutura da oferta do sistema convencional. Foi aplicado o método em duas cidades, uma de grande porte e outra de médio porte, com características específicas da oferta de transporte público. O procedimento permitiu a avaliação do sistema convencional para identificar as faixas de demanda e frequência onde é conveniente a substituição do sistema atual, em parte ou totalmente, pelo transporte complementar sob demanda. O agrupamento da demanda para definição das áreas de serviço sugere um sistema eficiente para ambas as cidades, uma vez que foi possível identificar perfis de comportamento similares específicos para a adoção do sistema. As diretrizes de escolha de frota, parâmetros e área de serviço sugerem que o desempenho real, quando corretamente determinados, tende a melhorar a qualidade dos serviços ofertados e suprir as deficiências do transporte convencional.

Palavras-Chaves: transporte sob demanda; DRT; transporte compartilhado sob demanda; TcsD; transporte público; BI; área de serviço de transporte; modelagem de sistemas.

ABSTRACT

Considering that the conventional public transport system needs a change in the economic structure, alternatives are needed to reduce the inefficiencies and costs of the conventional system. For this, one of the alternatives is adopt a demand responsive transport (DRT). In this context, this dissertation presents the guidelines and procedures to enable the implementation of on-demand systems which are complementary to the conventional transport network. These guidelines go through the identification, treatment and relationship of data, evaluation of this on a BI tool (BI), creation of service areas and modeling the on-demand system in a simulation environment to obtain the performance of the system. Thus, it was possible to propose a specific model, a shared transport on demand, from the service area and supply structure of the conventional system. The method was applied in two cities, one large and the other medium-sized, with specific characteristics of the public transport offer. The procedure allowed the evaluation of the conventional system to identify the demand and frequency windows where it is convenient to replace the current system, in part or totally, with complementary transport on demand. The demand clustering, to define service areas, suggested an efficient system for both cities, since it is possible to identify specific similar behavior profiles for the adoption of the system. The guidelines for choosing the fleet, parameters and service area suggested that real performance, when correctly determined, tends to improve the quality of the services offered and overcome the deficiencies of conventional public transport.

Keywords: demand responsive transport; DRT; shared on demand transport; TcsD; public transport; BI; transportation service area, transport modeling

ÍNDICE DE FIGURAS:

FIGURA 1 – QUEDA IPK DE 1994 A 2020	13
FIGURA 2 – PROCESSO ADR.....	16
FIGURA 3 – ESTRUTURA DA REVISÃO DA LITERATURA.....	17
FIGURA 4 – NUVEM DE PALAVRAS DOS TÍTULOS E QUANTIDADE DE ARTIGOS POR ANO	21
FIGURA 5 – REDE DE PALAVRAS CHAVES E COMO O DRT SE CONECTA A ELAS	22
FIGURA 6 – REDE DE AUTORES POR ARTIGOS DE DRT	23
FIGURA 7 – RELAÇÃO E OPERAÇÃO DO ITS EM TRANSPORTES.....	34
FIGURA 8 – EXEMPLO DE REDE CONSTRUÍDA COM ATRIBUTOS MÍNIMOS	40
FIGURA 9 – PRINCIPAIS DESAFIOS NA UTILIZAÇÃO DO <i>BIG DATA</i> EM TRANSPORTES	41
FIGURA 10 – AMBIENTE DO PROCESSO DE ETL.....	42
FIGURA 11 – POSSÍVEIS TRANSFORMAÇÕES PARA TIPO DE DADOS ESPAÇO/TEMPORAIS	43
FIGURA 12 – MODELO DE ESTIMATIVA DE DESEMBARQUE	44
FIGURA 13 – METODOLOGIA DE FLUXO DO PASSAGEIRO E OCUPAÇÃO DE VIAGEM	46
FIGURA 14 – CRUZAMENTO DE DADOS ANALÍTICOS COM DADOS GEOGRÁFICOS.....	49
FIGURA 15 – CRUZAMENTO DE DADOS ANALÍTICOS COM DADOS GEOGRÁFICOS.....	50
FIGURA 16 – EXEMPLO DE CONEXÕES DE DADOS DO POWER BI.....	51
FIGURA 17 – ARQUITETURA PARA TOMADA DE DECISÃO A PARTIR DE BI E FERRAMENTA DE MODELAGEM	52
FIGURA 18 – OPÇÕES PARA IMPLANTAÇÃO DE TcSD.....	53
FIGURA 19 – FRAMEWORK DA PESQUISA	54
FIGURA 20 – RELAÇÃO DOS DADOS, ITS E CONTEXTO NO TRANSPORTE PÚBLICO	55
FIGURA 21 – AMOSTRA DE DADO DE BILHETAGEM	57
FIGURA 22 – DIAGRAMA DO FLUXO DOS DADOS (<i>PIPELINE</i>).....	58
FIGURA 23 – FLUXOGRAMA PARA ENCONTRAR TABELA DE DADOS DESAGREGADOS	61
FIGURA 24 – DIAGRAMA DE RELACIONAMENTOS DO BANCO DE DADOS	65
FIGURA 25 – EXEMPLO DA VISUALIZAÇÃO DOS DADOS NO POWER BI	67
FIGURA 26 – ZONA DE TRÁFEGO E FAIXAS DE RENDA (SEGUNDO IBGE, EM REAIS) NAS DUAS CIDADES	72
FIGURA 27 – GRID DO IPEA COM COLORAÇÃO POR DENSIDADE DEMOGRÁFICA	73
FIGURA 28 – GTFS	73
FIGURA 29 – DISTRIBUIÇÃO DOS PASSAGEIROS E CARREGAMENTO DA REDE DE TRANSPORTE CONVENCIONAL	74
FIGURA 30 – INDICADORES RESUMO NO POWER BI.....	75
FIGURA 31 – EXEMPLO DE INDICADORES DE DEMANDA	76
FIGURA 32 – DEFINIÇÃO DAS ÁREAS DE SERVIÇO	77
FIGURA 33 – EXEMPLO DE UMA ÁREA DE SERVIÇO E PARÂMETROS DE RESULTADO.....	78

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – DIFERENÇA DE CUSTO ENTRE DRT E SERVIÇO CONVENCIONAL DE TRANSPORTE.....	26
TABELA 2 – NÚMERO DE VEÍCULOS POR SOLICITAÇÕES POR JANELA DE TEMPO	31
TABELA 3 – CONJUNTO DE DADOS GTFS.....	37
TABELA 4 – TIPOS DE DADOS NECESSÁRIOS PARA IMPLANTAÇÃO DE TCSD	56
TABELA 5 – PROCESSO PROPOSTO PARA CRUZAMENTO DOS DADOS	59
TABELA 6 – FORMAS DE AGREGAÇÃO DOS ATRIBUTOS	60
TABELA 7 – TABELA SEMENTE	62
TABELA 8 –TABELA OD TÍPICA.....	63
TABELA 9 –TABELA SOBE-DESCE TÍPICO	63
TABELA 10 –TABELA GRID	64
TABELA 11 – DECISÃO PARA SUBSTITUIÇÃO DE SISTEMA CONVENCIONAL <i>VERSUS</i> TCSD	67
TABELA 12 – PARÂMETROS DE REFERÊNCIA PARA MODELAGEM DE PERFORMANCE DRT	68
TABELA 13 – FROTA NECESSÁRIA CONSIDERADO A QUANTIDADE DE SOLICITAÇÕES POR JANELA DE TEMPO	68
TABELA 14 – RESULTADO DOS INDICADORES DE PERFORMANCE EM CADA ÁREA DE SERVIÇO.....	79
TABELA 15 – GTFS – VIAGENS	97
TABELA 16 – GTFS – ROTAS.....	97
TABELA 17 – GTFS – PARADAS (PUDO FÍSICO).....	98
TABELA 18 – GTFS – AGENDA PUDO	98
TABELA 19 – DADOS SECUNDÁRIOS – TIPO CARTÃO	99
TABELA 20 – DADOS SECUNDÁRIOS – TIPO FROTA.....	99
TABELA 21 – GPS.....	100
TABELA 22 – SBE.....	101
TABELA 23 – GRID IPEA	101
TABELA 24 – ZT	102
TABELA 25 – REDE.....	102

ÍNDICE DE SIGLAS

ABM: Simulação de Agentes (do inglês Agent based Modeling)	20
ADR: Action Design Research	11
AVL: localização automática de veículo, do inglês Automatic Vehicle Location	31
BI: Inteligência de Negócios (do inglês Business Intelligence)	10
CSV: Compressed Sparse Vector, mas comumente conhecido por arquivo separado por vírgula	30
DRT: Demand Responsive Transport - Transporte responsível à demanda.....	2
ETL: Extração, tratamento e carregamento (do inglês Extraction Transformation-Loading)	36
GJT: General Journey time or perceived travel time (tempo total de viagem ou tempo percebido de viagem)	27
GPS: do inglês Global Positioning System, que significa sistema de posicionamento global	31
GTFS: Especificação Geral sobre dados de Transporte Público (do inglês General Transit Feed Specification)	32
IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.....	33
IPK: Índice de passageiros por quilômetro	7
ITS: Sistemas Inteligentes de Transporte (do inglês Intelligent Transport Systems).....	8
IVTT: vehicle travel time (tempo embarcado).....	27
JSON: JavaScript Object Notation	30
MaaS: Mobilidade como um Serviço (do inglês Mobility as a Service).....	13
NTU: Associação Nacional de Empresas de Transportes Urbanos	7
OD: Origem e Destino.....	35
PUDO: Ponto de embarque e desembarque (Pick-Up Drop-Off)	64
S3: Simple Storage Service ou serviço de armazenamento de arquivos	42
SBE: Sistema de Bilhetagem Eletrônica	30
SHP: Shapefile é uma notação de dado geoespacial em forma de vetor.....	30
TcsD: Transporte compartilhado sob Demanda	2
XML: eXtensible Markup Language	30
ZT: Zona de tráfego	33

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA E HIPÓTESES DO ESTUDO.....	14
1.2	OBJETIVOS.....	15
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	16
2	REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1	DE PRODUTO PARA SERVIÇO	18
2.2	TRANSPORTE RESPONSIVO À DEMANDA (DRT).....	20
2.2.1	<i>Evolução tecnológica – do DRT para TcsD</i>	23
2.2.2	<i>Trabalhos correlatos</i>	27
2.2.3	<i>Modelagem DRT</i>	30
2.3	ESTRUTURA DE DADOS EM ANÁLISE DE SISTEMAS DE TRANSPORTES	32
2.3.1	<i>Sistemas Inteligentes de Transportes</i>	33
2.3.2	<i>Dados de bilhetagem do sistema regular (SBE)</i>	35
2.3.3	<i>Dados de monitoramento do sistema regular (GPS)</i>	36
2.3.4	<i>Especificação do sistema regular (GTFS)</i>	37
2.3.5	<i>Zona de tráfego (ZT) e GRID Ipea</i>	38
2.3.6	<i>Rede de Transportes</i>	39
2.4	TÉCNICAS DE EXTRAÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS	40
2.4.1	<i>Normalização (ETL)</i>	41
2.4.2	<i>Intermediação de dados</i>	43
2.4.3	<i>Armazenamento de dados</i>	47
2.4.4	<i>Análise e visualização de dados</i>	48
2.4.5	<i>Tomada de decisões a partir de indicadores do sistema</i>	51
2.5	CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	52
3	MÉTODO DE PESQUISA	53
3.1	<i>FRAMEWORK DO PROCEDIMENTO</i>	54
3.2	ETAPA 1: DADOS PARA IMPLANTAÇÃO DE TcsD	55
3.3	ETAPA 2: EXTRAÇÃO, TRATAMENTO E CARREGAMENTO (ETL)	58
3.4	ETAPA 3: ANÁLISE DO SISTEMA CONVENCIONAL E INDICADORES PARA TcsD.....	65
3.5	ETAPA 4: MODELAGEM TcsD	69

4	APLICAÇÃO DO MÉTODO	71
4.1	UTILIZAÇÃO DOS DADOS	71
4.2	DEFINIÇÃO DA ÁREA DE SERVIÇO	77
4.3	DESEMPENHO DO SISTEMA.....	78
4.4	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	80
5	CONCLUSÃO	82
	REFERÊNCIAS	84
	APÊNDICE I - TABELA EXEMPLO DA ESTRUTURA DE DADOS	96
	APÊNDICE II - TABELAS DE ATRIBUTOS	97

1 INTRODUÇÃO

O transporte urbano desempenha um papel fundamental para o desenvolvimento da sociedade (Lyons, 2004), e até mesmo para a prevenção do colapso desta (Walker, 2020). Apesar disso, as técnicas tradicionais de planejamento de transporte urbano o supõem como um meio, e não o fim em si. Essa constatação ocorre quando uma importante etapa metodológica implica na identificação do motivo de viagem (Ortúzar e Willumsen, 2011). Não importa como a oferta de transportes evolui ao longo do tempo, as pessoas se deslocam para determinado fim. Por isso modificar como se locomovem relaciona-se à conveniência e disponibilidade do contexto (Ortúzar e Willumsen, 2011; Rabay *et al.*, 2017).

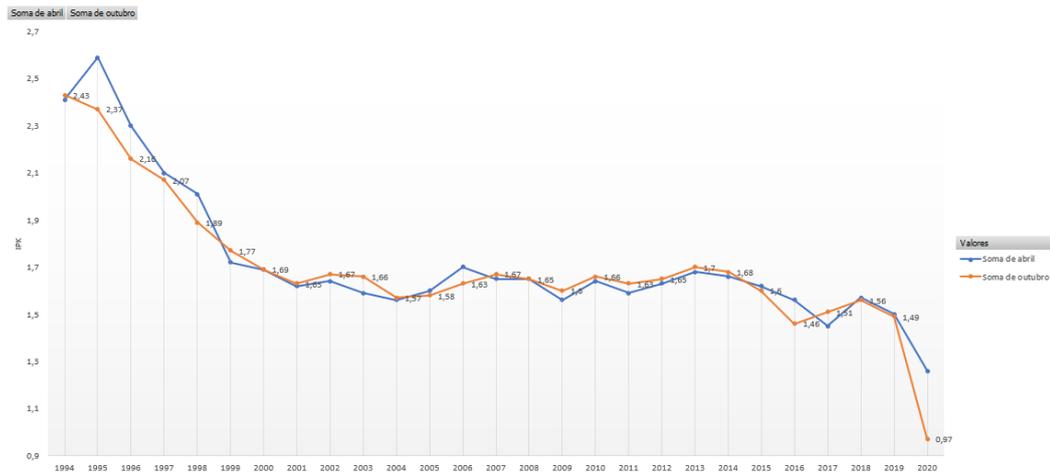
Há diversos modelos econômicos contemporâneos para viabilizar o serviço de transporte de passageiros (Pucher *et al.*, 1983; Kim *et al.*, 2002; Holmgren, 2014), utilizados em diversos países. No Brasil, o padrão vigente, ainda em 2020, refere-se à concessão do serviço público para instituições privadas, remuneradas, basicamente, pela tarifa (Carvalho *et al.*, 2013; Rabay *et al.*, 2017). Tal modelo faz com que custos e receitas necessitem ser equilibrados. Assim, na medida em que há redução de receita, há necessidade de redução dos custos, o que implica cortes operacionais. Os cortes operacionais, no entanto, implicam a percepção de qualidade do passageiro, o que pode levar, por sua vez, a uma limitação, ainda, maior da demanda. Dessa maneira, a única forma de reequilibrar os custos, no modelo atual, consiste no aumento da tarifa, o que, invariavelmente, impulsiona esse padrão em seu círculo vicioso (Carvalho, 2011; Carvalho *et al.*, 2013; Rabay *et al.*, 2017).

A queda no transporte de passageiros no Brasil é motivo de estudo e de análise de diversos pesquisadores, e relatam-se na literatura múltiplos motivos para tal, como fator ou mudança de renda (Henrique *et al.*, 2011; Rabay *et al.*, 2017); variação tarifária (Henrique *et al.*, 2011,; Carvalho *et al.*, 2013; Rabay *et al.*, 2017); qualidade do serviço (Rabay *et al.*, 2017); modelo de regulamentação do sistema de transporte público e as políticas para incentivar o transporte individual após 2008 (Vasconcelos *et al.*, 2010); não priorização do transporte coletivo frente aos serviços de carona (*Ride-Hailing*) a partir de 2014 (NTU, 2018); além da crise econômica entre 2013 e 2016 (NTU, 2018).

A Associação Nacional de Empresas de Transportes Urbanos (NTU) registrou quedas acentuadas do passageiro por quilômetro (IPK) em relação ao transporte público coletivo no período de 1994 a 2020, conforme **Figura 1**. Conforme o relatório anual de 2018 (NTU, 2018),

o modelo baseado, exclusivamente, na receita de passageiro era um grande risco para as novas tecnologias e não priorização do transporte coletivo face a outras opções como o automóvel. A mesma associação, em 2020 (NTU, 2020), em relatório sobre a pandemia COVID-19, e consequências para o setor, apresentou os dados de colapso institucional do sistema e números sobre os diversos colaboradores que foram demitidos e empresas do setor que faliram.

Figura 1 – Queda IPK de 1994 a 2020



Fonte: anuário NTU (2021).

Propuseram-se, entretanto, algumas tentativas para diminuir a queda de passageiros e os custos, como os sistemas radiais, tronco alimentados, variação da tarifa por faixa horário, adoção de Sistemas Inteligentes de Transporte (do inglês *Intelligent Transport Systems – ITS*), veículos com diferentes capacidades (Carvalho *et al.*, 2013; Holmgren, 2014; Rabay *et al.*, 2017) e sistemas responsivos à demanda (do inglês, *Demand Responsive Transport – DRT*).

O conceito de *DRT* não é novo no transporte, e possui sua primeira documentação de experimento realizado em 1916, na cidade de Atlanta nos Estados Unidos (Coutinho *et al.*, 2020). O conceito, no entanto, de atendimento responsivo à demanda, e as primeiras recomendações para pesquisas e desenvolvimento de programas foram apresentados pelo departamento de desenvolvimento urbano do Governo dos Estados Unidos em 1968 (*United States. Urban Transportation Administration*, 1968). A partir daí surgiram diversos estudos e o conceito foi apresentado em diferentes modalidades como: *dial-a-car* (Higgins, 1976); os sistemas de agendamentos com até 24 horas de antecedência como o *dial-a-ride* (Oxley, 1980); e *ride-hailing*, aplicativos de carona (Clewlow e Mishra, 2017); ou *paratransit*, que, também,

teve importante papel, dentro do conceito DRT, principalmente na Europa, para integração e acessibilidade (Kirby, 1976).

A academia registrou aumento na pesquisa relacionada ao DRT e, especificamente, às modalidades por aplicativo a partir de 2018 (Henaio e Marshall, 2019). Apesar do interesse, necessidade e crescimento, registraram-se lacunas em publicações, principalmente nos aspectos referentes a seus dados e implantação (Dorneles *et al.*, 2019). Mesmo com diversos sistemas implementados nos últimos anos em todo o mundo, com registro, inclusive, no Brasil, os custos desse sistema e sua forma de implantação constituem um entrave e não são vistos como investimento, mas como custo extra (Enoch *et al.*, 2006; Kamargianni *et al.*, 2016; Pettersson, 2019).

Como já contextualizado, a queda recorrente da demanda e a crise do COVID-19 evidenciam a necessidade de levar a discussão da mudança de política tarifária para o modelo de transporte, e adoção de sistemas que permitam otimizar toda rede equalizando custo operacional com necessidades sociais. Com base nessa lacuna, surge o problema de pesquisa, assim como as formulações de hipóteses e soluções alternativas.

1.1 Problema de pesquisa e hipóteses do estudo

Entende-se que sistemas que trazem mais eficiência com especificação da oferta, com base em uma demanda específica, se beneficiam da incorporação de tecnologias nas cidades (Barns, 2018; Barreto *et al.*, 2020). Há, no entanto, de vencer barreiras metodológicas, burocráticas, institucionais e econômicas.

O modelo de atuação para tecnologia *DRT* compartilhada, em que há compartilhamento da viagem em um mesmo veículo por diferentes requisições, não é claro. Isso porque grande parte das empresas responsáveis por sua implantação o fazem para competir com os aplicativos de carona (Pettersson, 2019; Tirachini, 2019), ao invés de serem complementares à rede de transporte coletivo (Lu *et al.*, 2016; Ambrosino *et al.*, 2016; Mueller *et al.*, 2020).

A cobrança dinâmica, onde a tarifa não é fixa para toda viagem e sim pelo deslocamento, e as legislações vigentes são barreiras da incorporação do DRT ao transporte convencional no Brasil (Silva *et al.*, 2018). Operadores e empresas não demonstram conhecimento de como implantar, precisamente, uma rede sob demanda, seja em substituição a sistemas deficitários ou de forma integrada (Nourbakhsh e Ouyang, 2012; Emele *et al.*, 2016; Papanikolaou e Basbas, 2020). Apesar de já haver métodos e algoritmos para estimar o potencial de desempenho de

sistemas responsivos (Costa *et al.*, 2021 e Kale e das Gupta, 2020), há um desafio de diminuir custo mesmo com adoção de uma nova tecnologia, sem garantia do aumento de demanda (Enoch *et al.*, 2006).

Segundo Balint e Toma (2015), o transporte se torna inteligente com ferramentas de Inteligência de Negócios (do inglês *Business Intelligence* – BI). O autor define BI como uma ferramenta que auxilia a transformação dos dados existentes, em conhecimento para tomada de decisões. As soluções de BI, segundo os autores, ajudam as empresas a compreender os padrões e prever tendências para o desenvolvimento do negócio. Para isso, é necessária uma arquitetura que faça as diferentes formas de coletas de dados se relacionarem a um sistema, que traga valor analítico e visual para seus controladores.

Nesse contexto, lança-se o seguinte problema de pesquisa: quais são as diretrizes e procedimentos para viabilizar a implantação de sistemas sob demanda complementares à rede convencional de transportes? Para tanto, formularam-se as hipóteses deste trabalho: (i) é possível identificar áreas potenciais de serviço, a partir do conjunto de dados coletados e tratados do sistema convencional e secundários, como populacional, densidade e renda; (ii) as linhas de transporte de baixa demanda têm potencial de substituição para situações específicas de transportes responsivos; (iii) é possível propor um modelo de DRT específico, a partir da área de serviço e estrutura da oferta do sistema convencional.

1.2 Objetivos

O objetivo principal dessa dissertação é elaborar diretrizes e propor procedimentos para viabilizar a implantação de sistemas responsivos à demanda complementares à rede convencional de transportes.

São objetivos secundários:

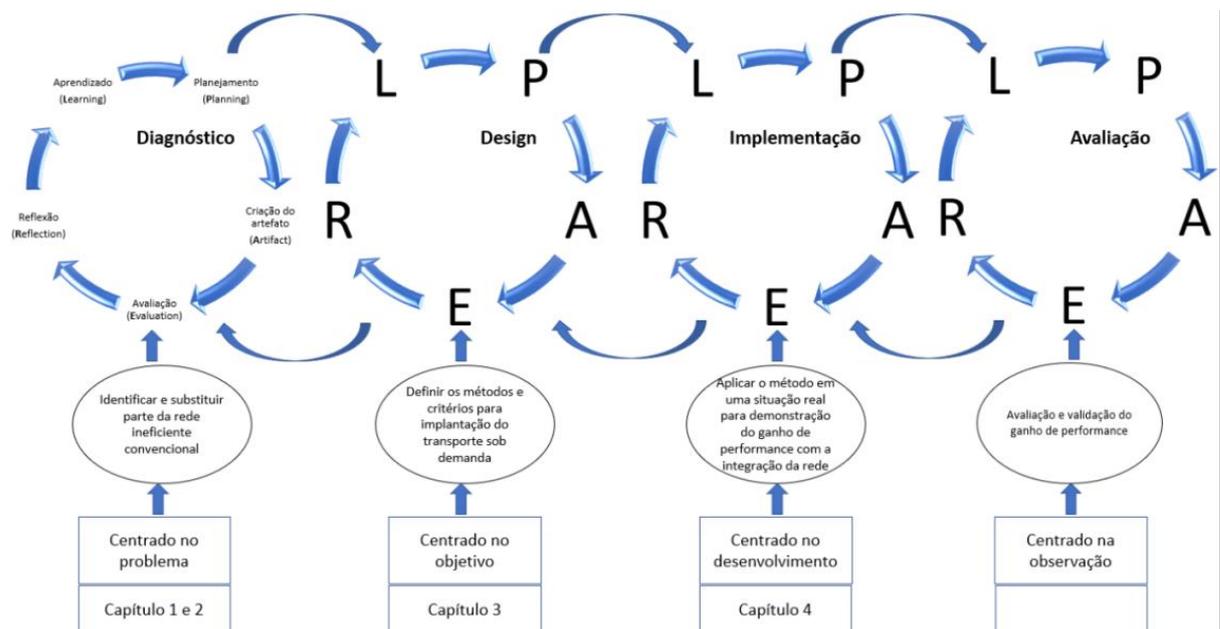
- caracterizar o sistema viável, complementar e substitutivo ao sistema de transporte convencional como “Transporte compartilhado sob demanda” (*TcsD*);
- identificar o conjunto de dados necessários para avaliação da implantação do *TcsD*;
- identificar o método para tratamento e cruzamento dos dados que possibilitem identificar o potencial do *TcsD*;
- apresentar e avaliar o uso de ferramenta BI para identificação dos principais parâmetros e critérios para modelagem do sistema *TcsD*;

- identificar os principais parâmetros e critérios para modelagem do sistema *TcsD*;

1.3 Estrutura da dissertação

Este trabalho fundamentou-se no *Action Design Research* (ADR) e foi baseado na metodologia proposta por Mullarkey e Hevner (2019). Nesta dissertação, o método proposto é norteado pelas etapas de diagnóstico, design específico e finalizando no ciclo de implementação, conforme a *Figura 2*.

Figura 2 – Processo ADR



Fonte: adaptada de Mullarkey e Hevner (2019).

Adaptando a dissertação a cada etapa do ADR, temos que o diagnóstico foi apresentado na introdução, o desenvolvimento do método baseado em técnicas, de tratamento de dados e modelagem de DRT, já consolidadas, e na introdução de novas contribuições identificadas na revisão da literatura. Como o objetivo é apresentar as diretrizes para a implementação de um sistema sob demanda complementar à rede de transporte, foi necessário um método que seja replicável, estruturado e com base em dados de sistemas reais. A respeito da implementação do método, apresentado no capítulo 4, o desenvolvimento com dados de cidades reais traz evidências sobre a pertinência da aplicação da metodologia, suas limitações e novas oportunidades de pesquisa discutidas no capítulo 5. Já a avaliação não foi considerada uma vez que a operação do sistema com a metodologia não foi implementada para sua avaliação além do ambiente simulado.

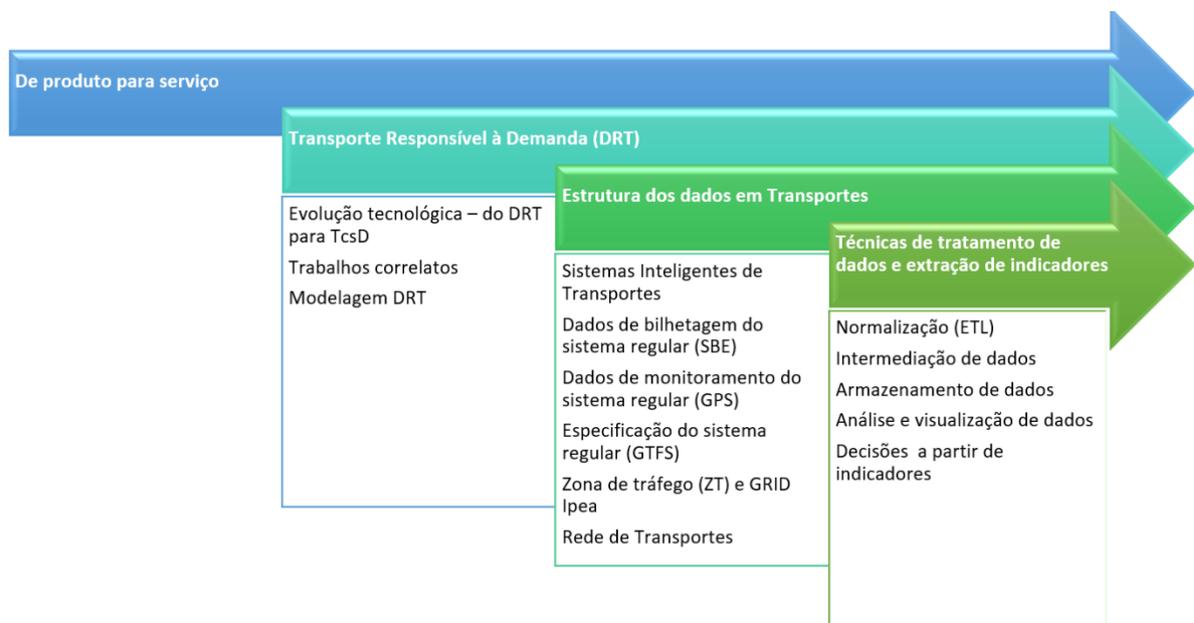
2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo tem como objetivo principal apresentar os sistemas responsivos e a gama de trabalhos com o objetivo de viabilizar sua implantação. No entanto, a apresentação da evolução do sistema, e das modelagens, confirmará as lacunas existentes e propostas desta dissertação.

Para entender não apenas a evolução do DRT, mas em que contexto ele se insere, a revisão articula-se à compreensão para que haja a mudança do conceito, de produto para serviço. Segue então com a evolução do DRT, do contexto em que ele será inserido, modelagens e trabalhos correlatos. Assim, será viabilizada a implantação de um sistema DRT, bem como os dados que serão utilizados para a aplicação da metodologia proposta no capítulo 3. Por fim, serão apresentadas as técnicas de tratamento e visualização.

Para facilitar o entendimento, e construir a narrativa de transporte como um serviço e sob demanda, esta foi baseada na estrutura lógica apresentada na *Figura 3* e detalhado nas subseções a seguir.

Figura 3 – Estrutura da revisão da literatura



Fonte: elaborado pelo autor.

2.1 De produto para serviço

Para entender o conceito de como um serviço sob demanda supre parte das deficiências do transporte convencional, é preciso contextualizar os anseios de desempenho sobre propriedade (Lacy e Rutqvist, 2015). Lacy e Rutqvist (2015) apresentam o conceito de produto como serviço e indagam se as pessoas querem ter a posse de um bem que proporciona um objetivo, como um automóvel, ou querem o serviço, na conveniência do tempo e local que quiserem. Os autores, ainda, revelam que o modelo de produto como serviço poupa as pessoas de adquirirem um bem, que utilizarão em espaço limitado de tempo, além de não precisarem preocupar com manutenção e evolução tecnológica. Os autores afirmam que, com a geração de jovens que preferem, cada vez mais, acesso do que propriedade, o modelo de produto como serviço se tornará o negócio de muitas empresas.

Para apresentar como a mobilidade se torna um serviço, tem-se utilizado o termo conhecido como MaaS (do inglês *Mobility as a Service – MaaS*). Heikkila *et al.* (2014) apresentam uma das primeiras definições do termo como um sistema compreendendo uma gama de serviços de mobilidade, para consumidores, por operadores. Já Hietanen *et al.* (2014) fazem uma analogia aos sistemas de comunicação e aos pacotes oferecidos na década de 1990 pelos operadores de telefonia móvel. Ambos os autores, apesar de apresentarem o conceito, descrevem o modelo a partir de uma plataforma tecnológica.

O conceito MaaS possui duas linhas de discussão científica:

- (1) conceito do atendimento da mobilidade por um serviço, medido e pago na proporção do seu consumo. Nesse conceito, o serviço adota o usuário como o centro da solução (Hietanen *et al.*, 2014; Giesecke *et al.*, 2016; Nikitas *et al.*, 2017; García *et al.*, 2020);
- (2) plataforma que materializa o conceito com base em um planejador multimodal que promete integrar diferentes modos de transporte, pagamentos e operação em um único ecossistema tecnológico. A plataforma tecnológica denominada MaaS se torna a solução em si (Heikkila *et al.*, 2014, Shaheen *et al.*, 2017, Jittrapirom *et al.*, 2017; Wong *et al.*, 2020);

Na busca por materializar o conceito por meio de uma plataforma, diversos autores apresentaram discussões e *frameworks* para sua implementação. Molinares e Palomares (2020) fizeram uma revisão sistemática da literatura sobre o tema e sintetizam que, “em um

entendimento amplo, MaaS é o planejamento e a entrega da mobilidade sob medida ao usuário a partir de informações, facilidade de pagamento, e confiabilidade aderentes às requisições”.

Calderon e Miller (2019) afirmam que o DRT é um exemplo de serviço de mobilidade implementado em torno do conceito MaaS. Kamau *et al.* (2016) propuseram uma solução de DRT em torno do conceito MaaS para reduzir o tempo de espera dos passageiros de linhas fixas em Dhaka, Bangladesh.

Já Djavadian e Chow (2017) afirmam que a generalização do MaaS, a respeito da combinação de serviços e atividades operacionais, possui grande vantagem para a modelagem, pois permite representar uma gama de serviços flexíveis de maneira extensível. Para os autores, conectar as mesmas características para serviços responsivos facilita a integração e a operacionalização da solução com base na medição dos seus indicadores em contraponto aos sistemas de transporte convencional.

Identificando as limitações para introdução de novos serviços tecnológicos em transportes, Hensher e Mulley (2020) apresentam as barreiras que precisam ser vencidas tanto do ponto de vista conceitual quanto ferramental, são elas:

- barreiras de momento, em que os usuários estão acostumados com o *status quo*;
- barreiras de implementação tecnológica;
- barreira do ecossistema (ambiente de negócio e atores dominantes);
- barreira de inovação (tecnologia necessária para mudar o cenário competitivo);
- barreira do modelo de negócio (como coexistir ou adotar o modelo de custo dos atores vigentes).

Como já apresentado na introdução, endereçar as questões de Hensher e Mulley (2020) implica na busca de uma alternativa conceitual para o modelo brasileiro, em que a tarifa, na maioria dos municípios, é a única financiadora do sistema de transporte. Nesse contexto, a tecnologia de DRT disponível precisa encontrar um modelo específico, que viabilize sua implantação de forma integrada, mesmo que não haja a integração tecnológica de requisição para o usuário final.

Apesar do termo convencional se aplicar a qualquer sistema responsável, diversas empresas lançaram plataformas e soluções baseados no conceito do *MaaS*, com a promessa de entrega de sistemas muito distintos (Dessouky *et al.*, 2003; Davison *et al.*, 2012, Häme e Hakula, 2015; Ribeiro *et al.*, 2015; Parragh *et al.*, 2015; Westerlund, 2016, Kamau *et al.*, 2017,

Daganzo e Ouyang, 2019). A evolução tecnológica e ganho de escala computacional permitiu novos modelos com base no mesmo conceito de DRT: o *ride-hailing*, aplicativos de carona (Clewlow e Mishra, 2017) como *Uber*¹, aplicativos para micromobilidade como *Grin*², (Bian e Liu, 2019; Perera *et al.*, 2018; Shaheen *et al.*, 2019), e, mais recentemente, transporte compartilhado (Pettersson, 2019) como da *Via*³.

Para, então, distinguir, das diversas soluções, um DRT que funcione como um transporte compartilhado sob demanda, complementar e com vantagens na substituição operacional, será denominado neste estudo como Transporte compartilhado sob Demanda – *TcsD*.

2.2 Transporte responsivo à demanda (DRT)

Apresenta-se, nesta dissertação, o conceito de transporte responsivo à demanda e como ele se insere no contexto geral dos transportes de passageiros. Para isso realizou-se uma revisão sistemática da literatura compreendendo diversos elementos a partir de abril de 2020 no google scholar⁴. O termo inicial de busca para Transporte Responsivo à demanda (em inglês *Demand responsive transport*) foi adicionado à variação “*Demand responsive transit*” e “on-demand”. Para a primeira busca, encontraram-se cerca de 14 mil publicações. No entanto, alguns dos artigos não faziam parte do universo dos transportes, e sim da área médica. Dessa forma se iniciou um processo de refinar os verbetes de busca por meio dos principais termos dos artigos que possuíam maior similaridade com o tema proposto nessa dissertação. Desse refinamento, foram encontrados e catalogados 586 artigos especificamente sobre DRT.

Dos artigos selecionados, foram utilizadas algumas técnicas para encontrar padrões, uma delas foi a identificação de força das palavras-chave, maiores volumes de publicação por ano, além da rede de conexões entre os assuntos. Na *Figura 4* é possível identificar a força de cada verbete, a partir do título e volumes de publicações por ano, sendo o termo *Demand Transport*, do inglês *transport sob demand*, o termo mais recorrente.

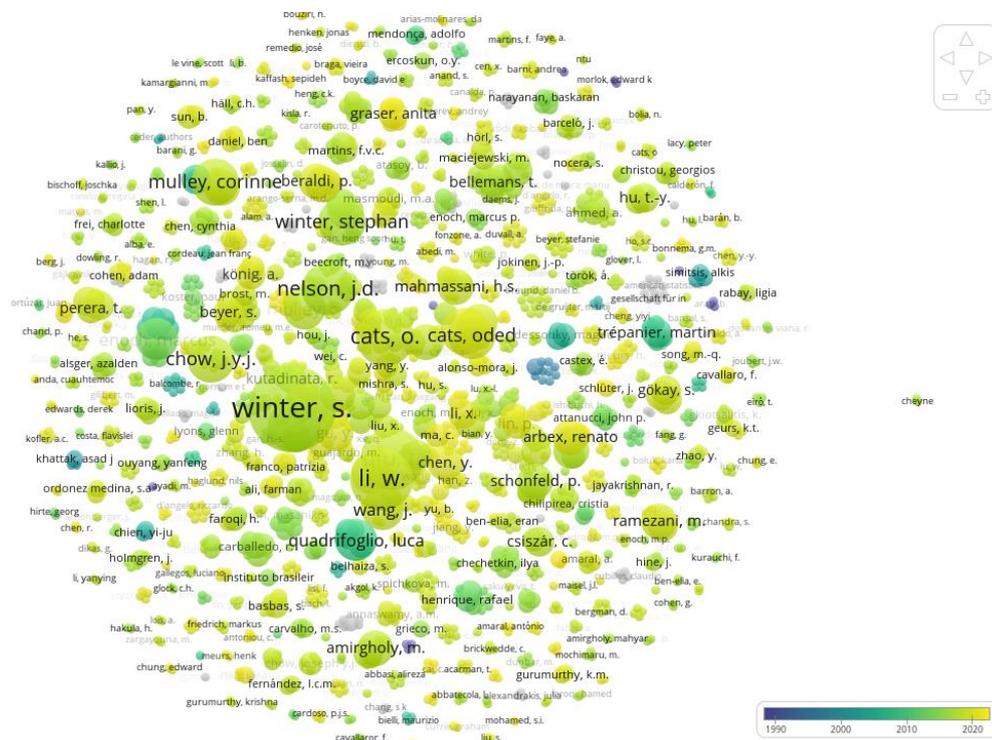
¹ <https://www.uber.com/br/pt-br/>

² <https://pt-br.facebook.com/grinbr/>

³ <https://www.viavan.com/>

⁴ <https://scholar.google.com.br/>

Figura 6 – Rede de autores por artigos de DRT



Fonte: elaborada pelo autor.

Então, com base na revisão sistemática, é possível construir uma narrativa histórica entre principais autores e publicações.

2.2.1 Evolução tecnológica – do DRT para TcsD

Conforme apresentou-se na introdução desta dissertação, os sistemas responsivos não são uma nova solução. Registrou-se o primeiro atendimento responsivo à demanda em 1916, em Detroit nos Estados Unidos, depois de uma greve de funcionários em uma fábrica (Coutinho et al., 2020). Em 1968 foi publicado o primeiro artigo que apresenta os benefícios e introduz conceitos formais para transporte de passageiros (Cole, 1968). Na década de 1970, o DRT foi evoluindo de sistemas de chamadas por telefone para os diversos modos, incluindo ônibus e taxi (Higgins, 1976; Oxley, 1980). A modalidade por meio de agendamentos ou atendimento imediato dependia da capacidade operacional. Como exemplo, táxis, podiam fazer o atendimento porta a porta sob demanda, enquanto ônibus ou *shuttles* dependiam de agendamento para criação e alocação das rotas (Arad et al., 1978). Uma das modalidades mais

populares de DRT foram os “*paratransit*” que consistiam em atendimento agendado, em que uma central fazia o despacho para rotas pré-definidas ou para rotas criadas com base na origem e destino dos passageiros (Kirby, 1976). Inicialmente, tal modalidade se popularizou pelo termo, com o propósito de atendimento de passageiros com necessidades de acessibilidade.

Apesar da modelagem destes sistemas terem evoluído no tempo com diversos artigos que tratam de sua otimização, apenas em 2006, elaborou-se um dos primeiros modelos matemáticos para otimizar e estimar a frota de DRT (Diana *et al.*, 2006). Ainda em 2006, um artigo teve relevante repercussão acadêmica. Enoch *et al.* (2006) trouxeram à tona uma série de questionamentos e discussões sobre a razão de os sistemas DRT falharem. Grande parte das conclusões dos autores referiam-se à questão econômica e limitação tecnológica da época.

Em 2008, Quadrifoglio *et al.* escreveram sobre o design de sistemas DRT e, a partir de uma simulação, responderam parte dos desafios apontados por Enoch *et al.* (2006). Complementando o design e propondo uma metodologia de otimização de rota, Diana *et al.* (2009a) apresentam uma importante contribuição científica que permanece como base até hoje, nas formas de otimização de rota para sistemas DRT.

No mesmo ano, Diana *et al.* (2009b), a partir do modelo de otimização de rota, apresentaram uma metodologia para comparar distâncias e desempenho de linhas fixas, com o sistema DRT. A respeito do mesmo conceito, houve novo avanço quando Li e Quadrifoglio (2010) apresentaram um método de políticas públicas para a escolha entre linhas fixas e o sistema DRT.

Davison *et al.* (2012) apresentaram os nichos de mercado em que o DRT está inserido, e trouxeram importantes conclusões sobre as razões que os DRT falham em sua implantação. Por exemplo, uma característica recorrente apresentada para a falha do sistema refere-se aos contextos e condições em que o sistema é inserido. As condições de implantação, os aspectos geográficos, tecnologia inadequada e a falta do reconhecimento dos padrões de demanda foram os principais pontos discutidos pelos autores. Ainda, a tecnologia desempenha um papel fundamental para a consolidação do DRT, com informações em tempo real, facilidade de pagamento e requisição de viagens.

Em 2012, foi implementado o Sistema Kutsuplus, em Helsinki, Finlândia, sendo o primeiro sistema em tempo real e automatizado de despacho de DRT no mundo, tendo sua operação, por razões econômicas, encerradas em 2015 (Weckström *et al.*, 2018).

Ronald *et al.* (2013) simularam diferentes formas de distribuição da demanda de um sistema DRT, com múltiplas origens para um destino único, e com distâncias curtas e longas de viagem. Os parâmetros considerados para a avaliação foram: tempo médio e máximo de espera, ocupação em comparação com o tempo em veículo vazio ou com passageiros embarcados. Os principais resultados da simulação revelaram que o acréscimo do tempo de espera é proporcional ao tamanho da área de atuação e número de solicitações, ainda que o aumento da frota possua maior correlação entre distância percorrida e a demanda do que ao tamanho da área. Ronald *et al.* (2015) afirmam que o DRT é uma boa solução para a baixa ocupação em serviços de transporte convencionais, especialmente em horários fora de pico e em rotas de baixa demanda.

Martinez *et al.* (2015) propuseram uma metodologia de agrupamento para formar rotas de serviços expressos de transporte, baseada na demanda histórica. Os autores discutem, ainda, a classificação de um sistema DRT a partir dos conceitos já introduzidos por Bellini *et al.* (2003), como: (i) itinerários e paradas fixas onde os usuários agendam o serviço; (ii) itinerários fixos com possíveis desvios por paradas, e alocação dinâmica do horário; (iii) serviço sem itinerário fixo, mas com paradas e horários pré-definidos; (iv) sistema dinâmico com itinerário, paradas e horários flexíveis.

Em 2015, publicou-se um artigo de Gomes *et al.*, (2015), em que os autores tratam do sistema DRT para substituição de linhas com altos subsídios e que o sistema seria uma forma sustentável, em um contexto de austeridade financeira. Os autores propuseram uma modelagem e otimização, comparando-se o serviço de transporte convencional com um serviço hipotético de DRT no mesmo cenário.

Qiu *et al.* (2015) analisaram políticas operacionais para serviços flexíveis para melhorar o desempenho do sistema em áreas de baixa demandada. Os autores também apresentaram uma função para avaliar o desempenho de sistemas de transporte através de simulação de um modelo proposto, em contraponto com linhas convencionais.

Kashani *et al.* (2016) apresentam a comparação de uma rede de transporte fixa com variação no quadro de horário, com linhas DRT em um ambiente de simulação. Os atores utilizaram o algoritmo de roteamento dinâmico, proposto por Diana *et al.* (2009), em um software de simulação de agentes (ABM). O método comparou os dados de forma desagregada, demonstrando que o DRT diminui o tempo total percebido pelo usuário, e para certas

circunstâncias, a um menor custo. Na comparação de custos, o serviço de DRT teve custos menores que o sistema regular para baixas demandas (menor e igual a 300 passageiros por hora) e frequências maiores que 30 minutos. Na Tabela 1 apresentam-se os resultados adaptados do artigo, percentual dos custos do DRT para cada faixa de demanda em comparação às frequências de linha convencional. Nesta tabela é representado em verde onde o custo % do DRT é menor e vermelho maior.

Tabela 1 – Diferença de custo entre DRT e serviço convencional de transporte.

Solicitação de passageiros por hora	Frequência em minutos		
	7.5	15	30
60	-88%	-82%	-63%
120	-82%	-72%	-43%
180	-75%	-63%	-23%
240	-68%	-53%	-2%
300	-62%	-43%	17%
600	-31%	3%	113%
900	-3%	44%	198%

Fonte: adaptado de *Kashani et al.* (2016)

Winter *et al.* (2016) também propuseram um modelo para determinar o tamanho de frota de um sistema DRT, ao menor custo possível geral do sistema. No entanto, o sistema proposto pelos autores não permite desvios com base na rota inicial estabelecida.

Lu *et al.* (2017) propuseram uma metodologia para clusterização centralizada ou descentralizada para serviços DRT, por meio da avaliação do tempo de viagem. A estratégia descentralizada apresentou melhora na percepção dos usuários, com melhor tempo de atendimento.

Jain *et al.* (2017) propõe um método para encontrar demanda potencial para sistemas DRT a partir de características demográficas e de viagem dos passageiros do sistema regular. Os autores apresentam uma revisão da bibliografia com diversos estudos de outros atores com os parâmetros identificados e como eles foram analisados no contexto da suscetibilidade de uso do DRT. Os autores concluem que padrões espaciais podem ser usados para encontrar áreas favoráveis para implementação do sistema.

Czioska *et al.* (2019) apresentaram uma metodologia para escolha de pontos virtuais, em vez de operações porta-a-porta. O método consiste em identificar os candidatos na rede, avaliar a demanda e agrupá-la em pontos ótimos, com base em técnica de clusterização.

Pettersson (2019) apresenta uma extensa revisão da bibliografia internacional e várias discussões a respeito dos sistemas DRT. O autor revela as diferentes formas de atuação dos sistemas DRT: (i) movimentação livre dentro de uma área predeterminada, onde as solicitações de muitos para muitos podem ser requisitadas; (ii) origens e destinos pré-estabelecidos, onde há substituição de áreas por estações, onde as pessoas podem fazer múltiplas origens para único destino, ou origem única para muitos destinos dependendo da política operacional; (iii) um combinado entre as duas soluções, em que o fluxo livre e requisições controladas dependem de parâmetros de tempo para integração à rede de transporte estruturante. Pettersson (2019) ainda discute as formas de embarque do sistema sob demanda: porta a porta, esquina a esquina e pontos virtuais. Do ponto de vista de pagamento, até 2018, o artigo mostra que os métodos de pagamento eram via smartphone, cartão integrado ao transporte e embarcado (dinheiro). As tarifas cobradas de forma dinâmica (por km ou tempo) ou fixa, em determinada área de serviço ou corredor. Diferentemente de concepções de diversos outros autores, que apresentam o DRT como uma melhoria e opção operacional e financeira sob certas circunstâncias, o autor concluiu que o sistema DRT é, apenas, uma melhoria marginal e opinou, por fim, que o sistema convencional com alta frequência é mais vantajoso.

Dorneles *et al.* (2019) citam a importância em adaptar e modificar os serviços de transporte a fim de minimizar a redução da demanda, especificamente no Brasil. Apesar do artigo tratar dos aplicativos individuais de carona, diversas correlações podem ser assumidas sobre a percepção do usuário. Os fatores essenciais para escolha por aplicativos de viagem foram, segundo os autores, o custo e o conforto, seguido por uma série de fatores facilitadores, tais como o porta-a-porta, segurança e praticidade. Segundo os autores, o crescimento de soluções compartilhadas necessita de estudo aprofundado para o fornecimento de estrutura apropriada para sua implantação. No entanto, este assunto é pouco explorado pela academia com base em sua revisão sistemática.

2.2.2 Trabalhos correlatos

Diversos artigos tratam de siglas diferentes para apresentar um sistema de DRT substitutivo e complementar à rede convencional de transporte coletivo. Conforme apresentado

por Barreto *et al.* (2019), o conceito de transporte flexível e complementar é de um sistema responsivo, não apenas substitutivo, mas que complementa o serviço, trazendo benefícios operacionais e econômicos para todos os atores do sistema. Os estudos que apresentaram essas características e informações mínimas de como implementá-las foram considerados na revisão da literatura, mas será considerado correlato apenas os estudos que tratam de quatro ou mais desses requisitos que são considerados na metodologia:

- definição da demanda;
- definição da área de serviço;
- definição de frota;
- indicadores de performance e;
- apresentação dos parâmetros que influenciam nos agrupamentos dos passageiros.

Alonso-González *et al.* (2018) apresentaram uma estrutura para avaliação de desempenho do DRT em comparação com linhas fixas com base em um serviço na Holanda. Os autores incluíram parâmetros de referência para o comparativo entre os desempenhos com base nos tempos generalizados de jornada para ajudar a identificar se o DRT poderia ser usado como complementar ou substitutivo. Os autores concluíram que, especificamente, para pares origem destinos mal atendidos pelo sistema convencional houve grande melhorias de acessibilidade quando comparado os diferentes serviços.

Gorev *et al.* (2020) fizeram uma análise em áreas de baixa demanda no contexto das linhas regulares das cidades. Os autores concluíram que o DRT permite um serviço com oferta mais aderente à demanda quando se modela, especificamente, a área de serviço. Os autores recomendam que a área de serviço seja definida por meio dos dados de demanda do transporte coletivo e dados secundários da população. Ainda em relação às áreas de serviço, devem ser identificadas áreas de baixa demanda onde as áreas de serviço devem ser abrangidas. Em termos de eficiência econômica, os autores afirmam ser apropriado combinar o sistema convencional com DRT.

Franco *et al.* (2020) apresentam a geração de padrões de atividades a partir de um sistema de simulação de agentes por dados de telefonia, para suportar a implantação de um novo sistema de DRT. Os autores demonstraram que o serviço DRT pode substituir os serviços convencionais de ônibus, provendo maior acessibilidade.

Kale e das Gupta (2020) apresentaram uma série de parâmetros e simulações para sistemas responsivos para alimentação de sistemas troncais em pequenas áreas, em comparação aos sistemas convencionais de alimentação em transportes. Os autores usam um software de simulação de agentes e medem a eficiência do DRT por meio dos indicadores de produtividade do veículo (quilometragem percorrida), passageiros transportados, tempo médio de viagem (*travel time*), tempo médio de espera (*waiting time*), tempo médio embarcado (*In-vehicle travel time*), ocupação média de passageiros, custo operacional e custo do passageiro. Em resumo, mostram um modelo para os operadores de transportes escolherem entre as linhas fixas existentes e o serviço DRT alimentador ao sistema convencional.

Mayaud *et al.* (2021) avaliaram a perspectiva de um provedor de tecnologia DRT sobre as dificuldades da infraestrutura local e como orientar a implantação destes serviços orientados por dados. Além disso, os autores explicam como reespecificar o sistema de transporte convencional a partir das requisições de viagens geradas pelo transporte sob demanda. Os autores apresentaram os dados que foram utilizados e o método de grid hexagonal a partir do perfil de utilização dos passageiros do provedor (GoLink) em Dallas, Estados Unidos para dar suporte as suas afirmações.

Costa *et al.* (2021) apresentaram um modelo de otimização e avaliação da *performance* de sistemas DRT. Os autores desenvolveram um simulador em python, que considera a rede OSM do *open street map*, comparando-se frota limitada e frota ilimitada; priorizando veículos vazios e veículos ocupados; tempo máximo de espera de 10 minutos; desvio máximo de 2,5 vezes da viagem direta; distância máxima de caminhada de 300 metros; tempo de embarque 1 minuto; tempo de atendimento porta a porta ou pontos virtuais; capacidade dos veículos 3, 6 ou 9 passageiros. Os autores concluíram que a priorização de veículos ocupados garante o menor uso de veículos, enquanto a priorização de veículos vazios melhora a distribuição do nível de serviço entre as áreas. Os níveis de serviços, em comparação ao tempo de espera, tempo total de jornada e custo generalizados comparados aos sistemas de transporte convencional, obtiveram resultados melhores. Ainda, veículos com capacidade acima de 9 passageiros não se justificaram, uma vez que não houve ocupação superior a 9 pessoas em nenhum trecho de viagem. Além disso, os veículos de menores capacidade não aumentaram, significativamente, a quantidade de viagens necessárias para atender a mesma demanda.

Com base na revisão da literatura e dos trabalhos correlatos, essa dissertação busca agrupar as melhores práticas na introdução de sistemas responsáveis para se constituir um modelo completo desde a captação dos dados, formas de implantação e integração dos sistemas convencionais.

2.2.3 Modelagem DRT

Conforme apresentado no histórico da evolução do DRT, uma série de métodos foram utilizados para endereçar as principais questões da implantação de um sistema DRT. Nesta seção, apresentam-se os principais métodos que levam aos indicadores, processos e parâmetros do sistema DRT.

Franco *et al.* (2020) afirmam que a carência de metodologias e ferramentas relevantes para implantação de novos serviços de mobilidade trazem como consequência a ausência de exemplos de modelagem para apoiar esses novos serviços. Nas últimas décadas, a mudança do uso de dados tipicamente agregados para dados mais detalhados, individuais e complexos e o desempenho do computador em crescimento contínuo em um nível de preço fixo leva à possibilidade de usar modelos microscópicos para regiões de planejamento em grande escala. Os modos responsivos à demanda, flexíveis em roteamento e cronograma, não são bem modelados em modelos tradicionais de 4 etapas, que funcionam usando fluxos agregados, representando o comportamento dos passageiros em um nível agregado e são restritos a modos de transporte roteados estaticamente, por outro lado as simulações baseadas em agentes, ABM, permitem incorporar a otimização de viagens com preferências e necessidades dos usuários (Ronald *et al.*, 2015)

Dessa forma, nesta subseção são apresentados o referencial teórico sobre modelos e parâmetros que foram utilizados no desenvolvimento do método proposto neste estudo.

2.2.3.1 Cálculo de frota

Diana *et al.* (2006) apresentam uma metodologia para determinação de tamanho de frota para um sistema DRT, a fim de se atender um determinado nível de demanda em um nível de serviço pré-determinado. O nível de serviço foi estabelecido pelos autores por um intervalo de tempo, especificando-se o desvio máximo de tempo de coleta e o desvio máximo do tempo direto de viagem.

O número de veículo $E(z)$ necessário para atender as duas requisições é:

$$E(z) = \frac{n}{2} * r_2 + n * (1 - r_2) \quad \text{Eq.1}$$

O cálculo relativo ao número total de veículos para n requisições pode ser generalizado por:

$$E(z) = \sum_{i=1}^n \frac{r_1}{i} \prod_{j=i+1}^n i(1 - r_j) \quad \text{Eq.2}$$

A partir dos cálculos do artigo, os autores apresentaram o resultado da simulação para as densidades de demanda e janelas operacionais da **Tabela 2**.

Tabela 2 – Número de veículos por solicitações por janela de tempo

Solicitações	Minutos			
	10	15	20	30
120	22,9	18,7	17,6	17,2
60	11,8	9,5	8,9	8,6
24	5,2	4,1	3,7	3,4
12	2,9	2,2	1,8	1,7

Fonte: traduzido e adaptado de Diana *et al.* (2006).

2.2.3.2 Otimização de rota:

Segundo Huang *et al.* (2020), o problema do *design* da otimização das rotas para DRT diz respeito às solicitações em tempo real que são inseridas na viagem já existente ou lançando uma nova rota para os novos passageiros. Cada nova requisição r inclui 4 valores: os pontos desejados de embarque e desembarque vértices $v_i^{r,p}$ e $v_j^{r,d}$, e os tempos associados a esses eventos $t_i^{r,p}$ e $t_j^{r,d}$. Uma penalidade é atribuída ao cálculo quando o tempo de embarque e desembarque desejado é violado. Para minimizar o desvio de tempo e aumentar a capacidade do serviço, introduziu-se um limite de desvio de tempo t_{max} . Para as requisições r , o tempo de chegada ofertado $t_i^{k,A}$ de um veículo k atribuído a um vértice v_i , deve seguir o intervalo de tempo $[t_i^{r,p} - t_{max}, t_j^{r,d} + t_{max}]$.

2.2.3.3 Tempo total de viagem ou tempo de viagem percebido

O tempo de viagem percebido total é um importante fator para a decisão das pessoas sobre seu modo de transporte. Balcombe *et al.* (2004) apresentam a equação de tempo total de viagem ou tempo percebido de viagem conforme segue:

$$GJT = IVTT + \alpha_1 \times WWT + \alpha_2 \times WLKT + \alpha_3 \times TRF \quad \text{Eq.3}$$

Em que $GJT = \text{General Journey time or perceived travel time}$ (tempo total de viagem ou tempo percebido de viagem), $IVTT = \text{in vehicle travel time}$ (tempo embarcado), $WTT = \text{waiting time}$ (tempo de espera), $WLKT = \text{walking time}$ (tempo de caminhada), $TRF = \text{number of transfers}$ (número de transferências), e coeficientes de peso: α_1, α_2 and α_3 .

2.2.3.4 Custo total de operação

Segundo Diana *et al.* (2009), o custo geral para o cálculo do DRT é dado por:

$$OC = \sum_{i=1}^n [(OH_1 \times COH) + (VKT_1 \times CVKT)] \quad \text{Eq.4}$$

Em que $OC = \text{operator's cost}$ (custo do operador), $OH = \text{operating hours}$ (horas operacionais), $COH = \text{vehicle's cost per one operating hour}$ (custo por veículo por hora operacional), $VKT = \text{total vehicle's kilometers driven}$ (kilometragem percorrida por veículo), $CVKT = \text{cost per one kilometer driven by a vehicle}$ (custo por quilômetro por veículo), and $n = \text{número de veículos}$.

2.3 Estrutura de dados em análise de sistemas de transportes

Para possibilitar um sistema viável a partir de dados disponíveis, são apresentados quais e como esses dados foram utilizados no contexto de transportes, a partir da literatura.

O termo *big data* é descrito pela *National Science Foundation* (2011) como “o conjunto de dados grandes, diversos, complexos, longitudinais e/ou distribuídos gerados a partir de instrumentos, sensores, transações da Internet, e-mail, vídeo, fluxos de clique e/ou todas outras fontes digitais disponíveis hoje e no futuro”.

Kaisler *et al.* (2013) apresentam uma série de desafios sobre *big data*. Os autores definem o termo com base em algumas características: volume, velocidade, variedade, valor e complexidade. No entanto, os autores afirmam que a quantidade e conhecimentos que podem ser extraídos se expandem conforme usuários descobrem novas formas de usar e processar esses dados. Eles concluem que “o maior volume de dados não é apenas mais dado”.

Em virtude de não serem, apenas, dados (Kaisler *et al.*, 2013), e da necessidade de prever comportamento de forma eficiente, o *big data*, em transportes, permite análises desagregadas em relação ao nível das pessoas e do perfil detalhado de como ocorre (Chowdhury *et al.*, 2017).

Para Zheng (2015), a aspiração, na Era do *Big Data*, refere-se ao desbloqueio do conhecimento de vários conjuntos de dados díspares, mas potencialmente conectados. Assim, o uso de dados secundários, segundo Anda *et al.* (2017), ocorre, geralmente, para três

propósitos: (i) para validar os resultados extraídos de fontes de dados em grande escala; (2) para definir fatores de expansão para a população em geral e (3) aumentar o detalhamento sobre o espaço urbano, sendo capaz de extrair padrões com maior precisão.

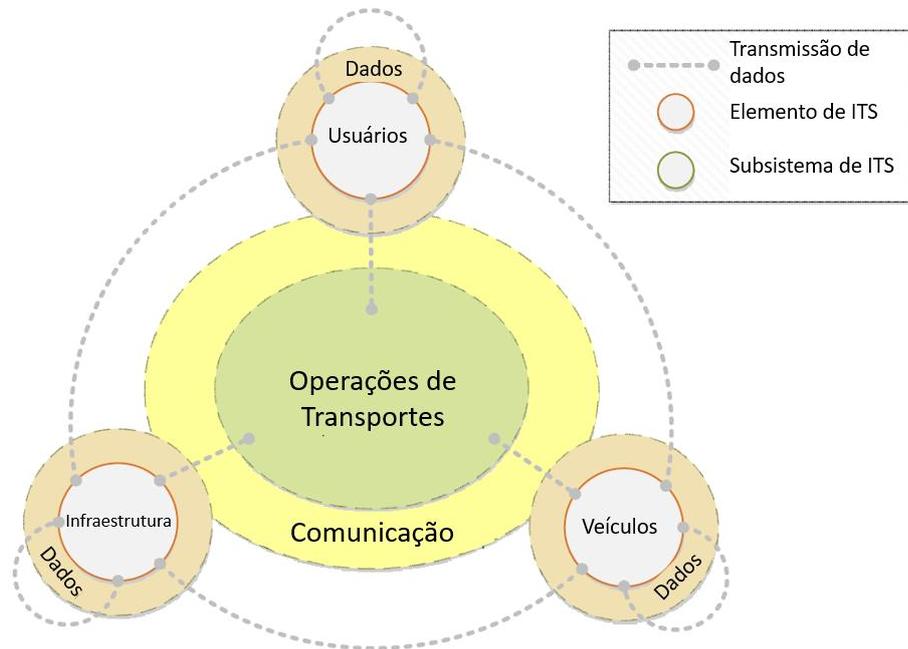
Assim, os itens que seguem abordam artigos que tratam da estrutura de dados em transportes, que foram utilizados no arcabouço metodológico deste trabalho. Em transportes, há inúmeras fontes de dados e uma grande variedade de tipos, apresentados no contexto das cidades ditas “inteligentes”. Apresentam-se a seguir quais são esses dados, como se apresentam e como são utilizados.

2.3.1 Sistemas Inteligentes de Transportes

Segundo Chilipirea *et al.* (2017), a arquitetura de uma cidade inteligente engloba camadas que podem ser resumidas em: (1) coleta e preparação dos dados, (2) análise e visualização e (3) utilização dos dados para suporte às decisões. Oferecer a uma determinada demanda, exatamente, a oferta especificada constitui uma previsão a respeito da necessidade de acordo com o padrão de uso, análise e à tomada de decisão de qual modelo será oferecido para o propósito em questão.

Para fornecer dados e integrar o conceito de cidades inteligentes, é preciso entender que parte dessa arquitetura deriva do conjunto de sistemas inteligentes de transportes, do inglês *Intelligent Transportation Systems* (ITS). Eles constituem a integração tecnológica entre os sistemas da informação, sensores eletrônicos e a infraestrutura, segundo Lin *et al.* (2017). Os autores apresentam um diagrama simples que sintetiza as interações dos elementos de transporte no contexto de cidades inteligentes, dados sobre os usuários, dados sobre a infraestrutura e dados sobre os veículos (*Figura 7*).

Figura 7 – Relação e operação do ITS em Transportes



Fonte: traduzido de Lin *et al.* (2017).

Álvarez *et al.* (2012) propuseram um *framework* sobre coleta de dados para servir às pessoas de forma responsiva. A abordagem considera não apenas a infraestrutura técnica como a narrativa (contexto) de um mundo conectado. Os autores afirmam que a inovação em sistemas de cidades inteligentes é baseada no princípio de que dispositivos, lugares e coisas do dia a dia podem ser habilitados para servir às pessoas de maneira responsiva e em tempo real. No artigo, propõe-se uma nova estrutura de design consciente do contexto e visualiza-se um cenário hipotético de cidade para destacar seus principais componentes e os benefícios que ela pode oferecer para a mobilidade urbana.

Relacionando-se as ideias de Álvarez *et al.* (2012) e Lin *et al.* (2017), é possível discutir sobre a importância dos dados e a contextualização da sua coleta e posterior uso. Diversos sensores e mecanismos foram introduzidos no tempo com propósitos específicos e, posteriormente, foram descobertas outras formas da utilização destes, mesmo sem estruturação para esse propósito (Braga, 2019).

Anteriormente à discussão sobre dado, é necessária a compreensão sobre os diferentes formatos mais usadas no setor de transporte. Graser *et al.* (2020) apresentam os formatos mais

comuns para a representação de dados geográficos (ISO, 2004) e dados em movimento na área de transporte (ISO, 2008). Os formatos mais comuns são:

- CSV, do inglês *Compressed Sparse Vector*, mas comumente conhecido por arquivo separado por vírgula, construído por linhas e colunas de dados em que cada linha contém várias células com informações sobre os dados. O formato é "baseado em texto" (.txt) que o torna flexível para processamento com todos os tipos de aplicativos textuais (Mahmud *et al.*, 2018).
- XML, do inglês *eXtensible Markup Language*, é uma linguagem de marcação para a criação de documentos com dados organizados hierarquicamente, tais como textos banco de dados ou desenhos vetoriais. Na linguagem, descreve-se qual a estrutura o dado deve ter para ser considerado válido como nomes das entidades, sua multiplicidade e opcionalidade (Bates, Chris, 2003).
- JSON, do inglês *JavaScript Object Notation*, é uma notação de dados estruturados em formato de texto baseado em Javascript. O formato deve ser estruturado por meio de uma coleção de pares com nome e valor ou ser uma lista ordenada de valores (Felipe *et al.*, 2016).
- SHP, Shapefile é uma notação de dado geoespacial em forma de vetor, usado por Sistema de Informação Geográfica. Foi desenvolvido e regulamentado pela ESRI com especificação aberta para interoperabilidade por dados entre *softwares* gerais se tornando um formato universal para arquivos geográficos (Esri, 1998).

No APÊNDICE I – Tabela exemplo da estrutura de dados, é possível ver imagens de casos reais em transporte dos formatos mais comumente utilizados, citados e descritos anteriormente.

2.3.2 Dados de bilhetagem do sistema regular (SBE)

No Brasil denomina-se Sistema de Bilhetagem Eletrônica (SBE) o conjunto de equipamentos que permite a validação de créditos eletrônicos para a realização da viagem de um passageiro (Pelletier *et al.*, 2011). Os cartões inteligentes (do inglês *Smartcard*) são cartões de pagamento que podem ser usados para acessar sistemas de transporte público. Os dados de registro do cartão inteligente contêm informações sobre como os usuários viajam e podem ser

analisados para a identificação de padrões e a promoção de um melhor serviço ao público (Pons *et al.*, 2015).

Quando tratado nesta dissertação, SBE será o acrônimo utilizado para resumir os relatórios com o registro dos dados referentes às validações únicas dos cartões eletrônicos no sistema de transporte coletivo.

Geralmente, os arquivos SBE são exportados no formato CSV, XML ou JSON e, de forma geral, são encontrados as seguintes informações: código do cartão, data, número da linha, código motorista, código do veículo, horário que houve a validação, tipo de cartão, número da viagem, sentido e outras informações (Trépanier *et al.* 2009; Graser *et al.* 2020).

2.3.3 Dados de monitoramento do sistema regular (GPS)

A localização automática de veículo, do inglês *Automatic Vehicle Location* (AVL), é resultado de uma tecnologia de rastreamento de veículos. A forma mais tradicional de uso do AVL, em ônibus, é por GPS, do inglês *Global Positioning System*, que significa sistema de posicionamento global (Pons *et al.*, 2015).

Os sistemas de monitoramento de frota com o uso de GPS permitem coletar os dados e indicadores da execução de viagens. Esses dados são fundamentais para a identificação exata da localização de cada veículo em um dado momento e são importantes para facilitar e trazer mais precisão ao método proposto.

Geralmente, os arquivos em GPS são exportados no formato CSV ou JSON e, de forma geral, são encontrados as seguintes informações: código da linha e sentido da viagem, código do veículo, horário que o dado foi recebido, horário que o dado foi capturado pelo equipamento, latitude, longitude, código do equipamento (Pons *et al.*, 2015).

O aparelho rastreador é instalado no veículo, que captura os dados de deslocamento e vincula o código do veículo e dados, cadastrados previamente, à posição coletada. Muitas vezes as informações da linha e sentido são indevidas devido a reaproveitamento de frota e necessidades de mudanças operacionais por parte dos operadores (Braga, 2019).

Dessa forma, Braga (2019) e Arbex e Cunha (2020) apontam a necessidade de corrigir os dados de cadastro, associados ao rastreador GPS com algumas técnicas; dentre elas o cruzamento com os dados gerais de planejamento de transporte, o *General Transit Feed Specification* (GTFS).

2.3.4 Especificação do sistema regular (GTFS)

A Especificação Geral sobre dados de Transporte Público foi criada pela empresa TriMet e pela Google como *Google Transit Feed Specification (GTFS)*. Essa é uma especificação de formato de dados que permite agências e operadores de transporte publicarem suas informações para serem consumidas em uma variedade de aplicações. Em 2010, a sigla GTFS foi renomeada para *General Transit Feed Specification* para representar as diferentes aplicações fora dos produtos da Google. Esse padrão de arquivos possui componentes estáticos (quadro de horário, tarifas, informações geográficas das linhas, pontos etc.) e dinâmicos (nominado como tempo real, do inglês *real time*, e possui previsão de chegada, posicionamento dos veículos e notificações do sistema).

Os dados GTFS podem ser coletados ou construídos com base nas informações dos sistemas de transporte das cidades. Os dados podem ser disponibilizados em um arquivo contendo os dados separados por vírgula, no formato CSV/TXT. A partir desses dados, é possível saber quais são as rotas do transporte coletivo, onde está a infraestrutura de acesso como pontos, e a programação operacional a partir dos horários (Pons *et al.*, 2015). Na tabela 4, apresenta-se a especificação do GTFS com o nome dos arquivos e definição.

Tabela 3 – Conjunto de dados GTFS

Nome do arquivo	Requisito	Definição
<u>agency</u>	Obrigatório	Empresas de transporte público cujos serviços estão representados nesse conjunto de dados.
<u>stops</u>	Obrigatório	Paradas onde os veículos pegam ou deixam passageiros. Também define estações e entradas de estações.
<u>routes</u>	Obrigatório	Trajetos de transporte público. Um trajeto é um grupo de viagens exibidas aos viajantes como um único serviço.
<u>trips</u>	Obrigatório	As viagens de cada trajeto. Uma viagem é uma sequência de duas ou mais paradas que ocorrem durante um período específico.

Nome do arquivo	Requisito	Definição
<u>stop times</u>	Obrigatório	Horários de partida e chegada dos veículos nas paradas específicas de cada viagem.
<u>calendar</u>	Obrigatório sob certas condições	Datas de serviço especificadas usando um cronograma semanal com datas de início e término. Esse arquivo é obrigatório, a não ser que as datas de serviço estejam definidas em <u>calendar_dates.txt</u> .
<u>calendar_dates</u>	Obrigatório sob certas condições	Exceções para os serviços definidos no <u>calendar.txt</u> . Se <u>calendar.txt</u> for omitido, <u>calendar_dates.txt</u> será obrigatório e precisará conter todas as datas de serviço.
<u>feed info</u>	Obrigatório sob certas condições	Metadados do conjunto de dados, incluindo informações sobre o editor, a versão e a validade.

Fonte: <https://developers.google.com/transit/gtfs/reference>

2.3.5 Zona de tráfego (ZT) e GRID Ipea

Uma das primeiras publicações sobre agrupamento de áreas foi desenvolvido por Ward (1963), com base em características de similaridades específicas. Segundo Martinez *et al.* (2009), diversos autores aprimoraram os procedimentos de agrupamento com novas formas de agregar dados espaciais. Os autores, ainda, apresentam uma eficiente revisão das principais publicações, discussões, objetivos e limitações dos métodos de estabelecer o agrupamento de áreas.

Conforme Martinez *et al.* (2009), em transportes, o termo para agregação espacial de dados é denominado TAZ (do inglês *transportation analysis zones*), que será tratado, neste trabalho, como ZT (zona de tráfego) para fins de simplificação.

Os setores censitários são áreas definidas pelo IBGE, com representação homogênea de uma região com atributos referentes a essas áreas (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2016). Por ser tratar de dados oficiais, com informações estatísticas relevantes como população, renda, perfil demográfico, densidade, entre outros, é possível fazer uma análise de similaridades para agrupamento específico para fins de modelagem.

Segundo Jiang *et al.* (2018), diferentes métodos de criação das ZT podem levar a resultados de atribuição de fluxo diferentes em uma mesma rede. Para os modelos tradicionais, os autores afirmam que a precisão na previsão da demanda é correlacionada com a complexidade das ZT. Porém, aumentar o número de ZT implica aumento de custos. Portanto, é importante encontrar um método de zoneamento apropriado para obter um resultado de previsão de boa qualidade a um baixo custo.

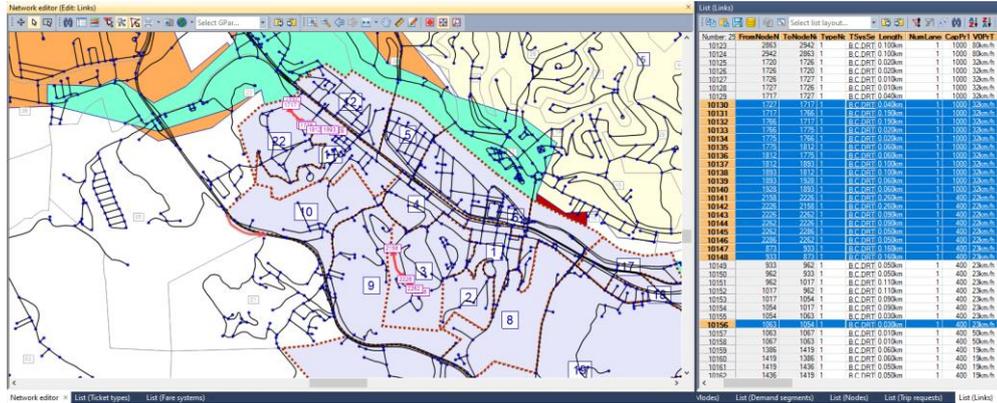
Viegas *et al.* (2008) apresentam uma eficiente forma de estabelecer dados agregados é usar grids celulares comumente usados no formato 200 x 200 metros ou hexagonais. Pereira *et al.* (2019) apresentaram uma metodologia para a criação desses grids com base em dados oficiais do governo brasileiro por meio do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). Esses dados serão denominados de GRID Ipea, e foram utilizados na metodologia em virtude de constituírem dados oficiais.

2.3.6 Rede de Transportes

A rede é um conjunto de grafos compostos por linhas (*arestas*) e nós (*vértices*) e são usadas para analisar a forma que pessoas e mercadorias fluem de um local para outro (Taaffe *et al.*, 1996). A informação contida e derivada de uma rede é crítica para diferentes aplicações, incluindo roteirização, escolha do modo e modelos de atribuição (CALIPER, 2007).

Os elementos da rede podem ter toda estrutura urbana representados por atributos para aplicação de modelos e análises (Systematics *et al.*, 2012). A nomenclatura “rede” será utilizada para os grafos que representarem o conjunto de elementos da estrutura urbana, sendo sua base as vias e seus elementos mínimos para modelagem sendo os campos mínimos: nome, tipo, extensão, capacidade, velocidades, sistemas operantes. Além destes, compõem a rede: (i) dados de planejamento, que são compostos pelos dados de GTFS, (ii) dados de bilhetagem (SBE), (iii) dados de execução das viagens (GPS), (iv) dados de território (ZT ou Grid). Na **Figura 8** é representado um exemplo de uma rede construída por meio do software VISUM (2021). O formato do arquivo de rede é o SHP, por se tratar de um formato comum e de fácil manipulação em diferentes ferramentas.

Figura 8 – Exemplo de rede construída com atributos mínimos



Fonte: elaborada pelo autor.

Como será apresentado na metodologia, a rede de transporte é utilizada para o cálculo da distância percorrida pelos passageiros entre Origem e Destino (OD) e para atribuir a demanda das solicitações. Para a segunda opção em sistema sob demanda, Huang *et al.* (2020) apresentam a formulação da rede em grafo por $G = (V, A)$, em que $V = \{v_0, v_1, \dots, v_n\}$ é um conjunto de vértices (nós) e $A = \{(v_i, v_j): v_i, v_j \in V, i \neq j\}$ é o conjunto de links (arcos). O vértice V compreende 3 subconjuntos: Vértice de embarque V_p , vértice de desembarque V_d , e ponto base v_0 . R é o conjunto de novas solicitações, e V_r o conjunto de vértices contendo as informações espaciais da solicitação $r \in R$, i.e., $V_r = \{v_i^{r,p}, v_j^{r,d}\}$, e $v_i^{r,p} \in V_p, v_j^{r,d} \in V_d$. Cada requisição é associada a um horário de embarque desejado t_r^p e tempo de desembarque t_r^d . As solicitações cumulativas entre um par (v_i, v_j) OD são denotadas q_{ij} . A frota fixa de veículos homogêneos é denotada como K , e todos possuem a mesma capacidade cap . J_k é a rota servida pelo veículo $k \in K$, que podem ser representados por um conjunto de vértices, V_k , e $V_k = \{v_i | (v_i, v_j) \in J_k, v_j \in V\}$.

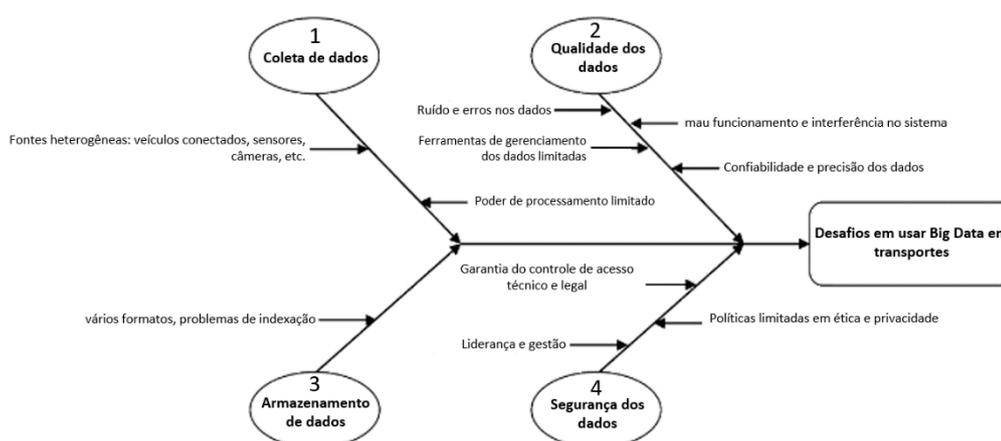
2.4 Técnicas de extração e tratamento de dados

Neilson *et al.* (2019) apresentam sete camadas da arquitetura de *big data* para a utilização no contexto dos transportes: (i) fontes de dados (por exemplo, sensores, dispositivos); (ii) normalização de dados (por exemplo, extrair, transformar e carregar); (iii) intermediação de dados (por exemplo, cruzando diferentes fontes ou usando um corretor de contexto); (iv) armazenamento de dados (por exemplo, armazenamento distribuído); (v) análise de dados (por exemplo, análise estatística); (vi) visualização de dados (por exemplo, indicadores e

mapeamento de eventos); (vii) decisões (por exemplo, re-especificações, e ações em tempo real).

Ainda, Neilson *et al.* (2019) realizaram uma vasta revisão da bibliografia sobre *big data* e identificaram quatro grandes grupos de desafios em relação aos termos: transportes (**Figura 9**): (1) Coleta de dados, (2) qualidade, (3) armazenamento e (4) questões de segurança.

Figura 9 – Principais desafios na utilização da Big data em transportes



Fonte: traduzido de (Neilson *et al.*, 2019).

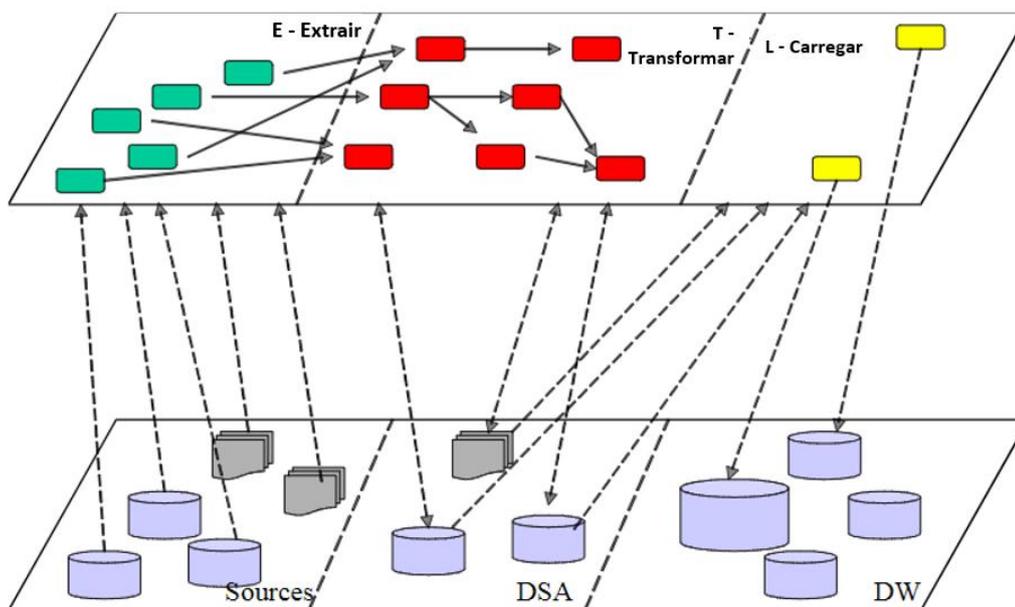
Com a apresentação de cada dado que será utilizado, buscou-se atingir a origem da coleta de cada um deles. Para endereçar os desafios levantados por Neilson *et al.* (2019), cada uma das seis etapas restantes da camada de *Big data*, apresentada pelos autores, será tratada nos próximos itens para compor a metodologia.

2.4.1 Normalização (ETL)

As técnicas de normalização, normalmente, são utilizadas por diversas fontes para sua limpeza, personalização e inserção em um sistema de armazenamento de maneira organizada para análises (Vassiliadis *et al.*, 2002). Os autores apresentam um modelo conceitual para o termo apresentado e conhecido internacionalmente por ETL (do inglês *Extraction Transformation-Loading*). Segundo os autores, o processo de ETL é um dos mais importantes no desenvolvimento da análise de dados e gestão de banco de dados, chegando a representar em média 55% total do custo de processamento destas estruturas.

Na **Figura 10** foi exposto o ambiente do processo de ETL, considerando-se a relação entre fonte de dados (*Sources*), estrutura intermediária de transformação (*DSA – Data staging area*) e banco de dados de trabalho (*DW – Data warehouse*).

Figura 10 – Ambiente do processo de ETL



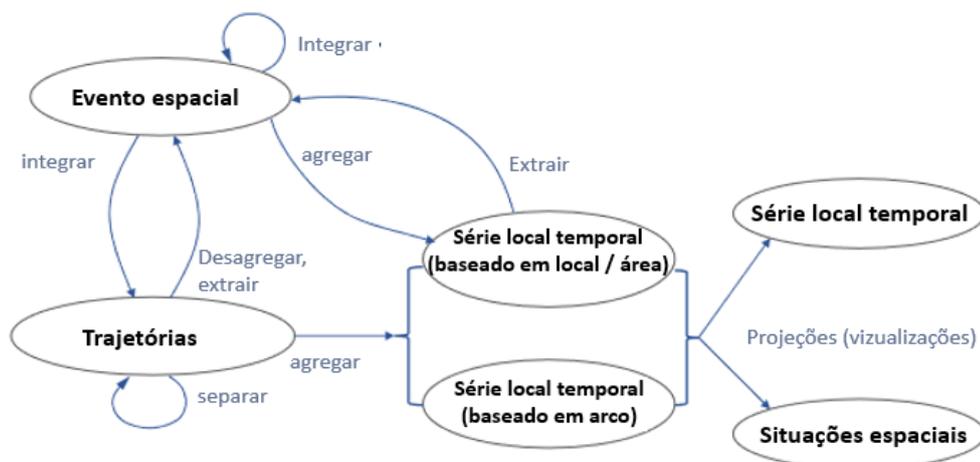
Fonte: traduzido de Vassiliadis *et al.* (2002).

Os autores, ainda, apresentam uma arquitetura conceitual para os processos de ETL com foco em camadas:

- a. Camada Conceitual
- b. Camada de atributos
- c. Camada de transformação
- d. Camada de relacionamento

Andrienko *et al.* (2017) apresentam o esquemático de possíveis transformações dos dados em transporte com relação a espaço e tempo (**Figura 11**). Na imagem revela-se como, com base em fontes distintas, é possível agregar ou desagregar dados, extrair ou integrar informações a partir da conveniência de eventos georreferenciados, trajetórias, séries temporais e projeções.

Figura 11 – Possíveis transformações para tipo de dados espaço/temporais



Fonte: traduzida de Andrienko *et al.* (2017).

Os modelos de *frameworks* mais comuns para soluções de banco de dados podem ser baseadas em um design estrela puro (com uma tabela central, denominada fato, conectada com tabelas de múltiplas dimensões) que pode evoluir para um design de esquema estrela com várias tabelas fato (um para cada grupo de indicadores de desempenho), conectada com várias tabelas dimensão, que, adicionalmente, podem evoluir para um design estrela com várias tabelas fato compartilhando diferentes tabelas de dimensão, geralmente conhecido como design de esquema de constelação (MOODY e KORTINK, 2003).

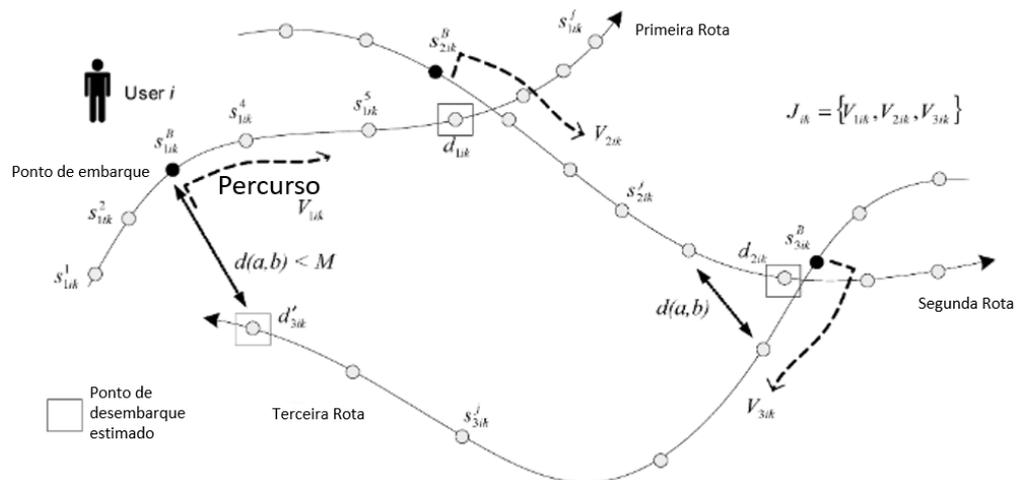
2.4.2 Intermediação de dados

As técnicas de tratamento de dados de forma automatizadas se tornam fundamentais devido ao volume e à necessidade de transformar a gama de dados em uma análise de contexto microscópica (ANDRIENKO *et al.*, 2017). Os autores revisam diversas metodologias e como a análise visual e de padrões permitem um planejamento sob medida. A respeito disso, o enfoque ao tratamento dos dados por meio do termo intermediação é o cruzamento de diferentes dados, fontes e técnicas.

Zhao *et al.* (2007) explicam a metodologia de integração da base de dados SBE e da base de dados GPS. Para cruzar as bases, os autores utilizam a coluna de identificação do veículo, comum entre as bases, e fazem uma junção por meio da busca dos horários mais próximos, incorporam a posição no momento do embarque, e atribuem uma parada anterior na base do sistema SBE.

A estimação de matriz Origem Destino (OD) é a finalidade que mais utiliza dados de SBE e GPS, e conta com métodos consolidados como os propostos por Trepanie *et al.* (2007) e Munizaga e Palma (2012). De forma geral, os autores apresentam a mesma lógica de atribuir o destino a cada viagem de acordo com **Figura 12**.

Figura 12 – Modelo de estimativa de desembarque



Fonte: traduzido de Trepanie *et al.* (2007).

No mesmo contexto, Zou *et al.* (2016) incluíram uma regra espacial envolvendo a frequência e distância de viagem, com base no motivo "casa". Ainda, os autores identificaram, previamente, a "casa" dos usuários. Para a tarefa, eles ampliaram os pressupostos de Trepanie *et al.* (2007), sendo: (i) a posição de destino da última viagem é geralmente a mesma da posição de origem da primeira viagem do dia; (ii) a posição de origem da primeira viagem é geralmente a mesma do destino da última viagem do dia anterior; (iii) para a maioria dos passageiros, a primeira viagem começa e a última termina próximo a "casa" do usuário. O fluxo esquemático para a identificação do destino, segundo todos esses autores, segue a seguinte lógica:

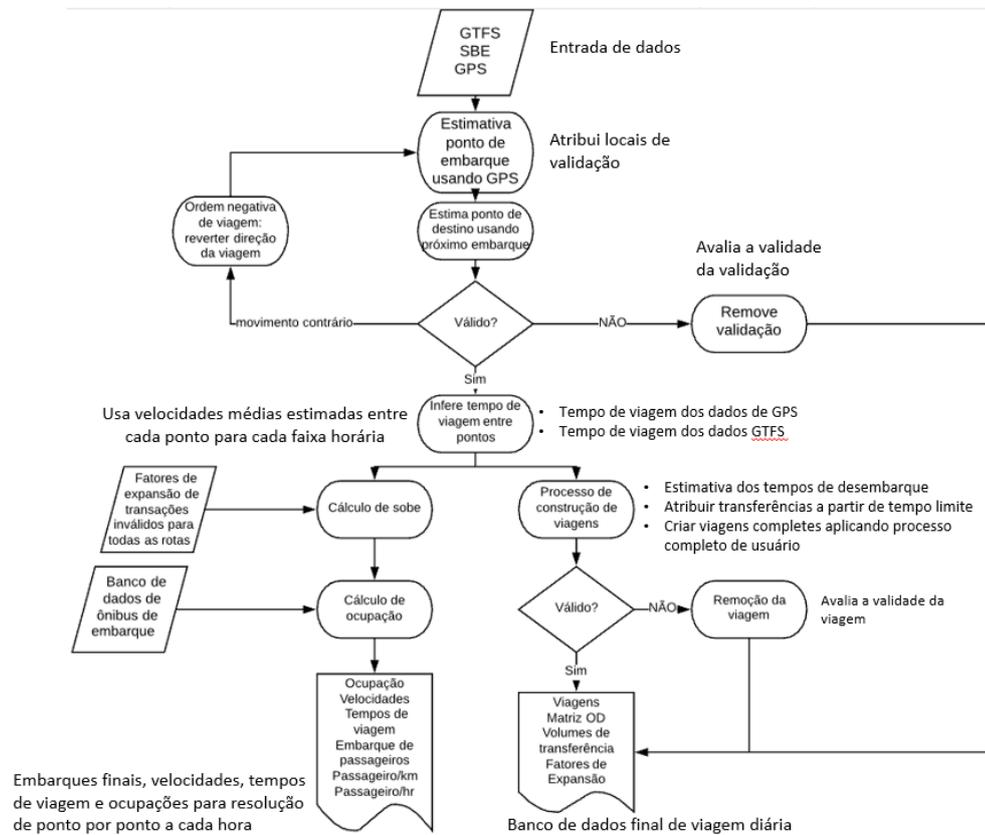
- i. Cruza-se o código do veículo com base nos dados de GPS com os de SBE inferindo posição do veículo no momento da validação do SBE a partir da data e hora de validação;
- ii. Identificam-se os registros de um mesmo passageiro em um único dia, utilizam-se os registros onde o passageiro tenha mais de duas validações no dia;
- iii. Identifica-se a validação subsequente do passageiro;
- iv. Verifica-se se a linha de origem possui distância "a pé de deslocamento" do embarque subsequente;

- v. Atribui-se o último destino como primeira origem se condição 3 for aceita;
- vi. Atribui-se o ponto de destino para os passageiros que atenderem o critério;
- vii. Atribui-se a primeira origem como residência.

Um dos trabalhos mais completos identificados na revisão bibliográfica, sobre o cruzamento de dados em transporte com metodologia que apresenta indicadores e análise da operação do sistema de transporte foi Arbex e Cunha (2020). Os autores apresentam uma metodologia para estimar a variação da ocupação e tempo de viagem no espaço e tempo a partir dos dados de bilhetagem eletrônica e GPS. A metodologia foi aplicada filtrando-se dias da semana típicos. Foram então calculadas as características da cadeia de viagens com base na *Figura 13*.

Com a metodologia proposta por Arbex e Cunha (2020), foi possível avaliar dados desagregados que permitiu identificar, entre outras métricas: ocupação, velocidade média e tempo das viagens onde os cenários foram combinados para analisar a acessibilidade de empregos com os parâmetros em separados e conjuntamente. Os resultados revelaram que há uma influência significativa no tempo de viagem percebido na redução da acessibilidade. Os autores afirmaram que levar as métricas de avaliação do transporte público para a percepção do usuário contribuirá para a melhora da qualidade do transporte, tornando-o mais atraente.

Figura 13 – Metodologia de fluxo do passageiro e ocupação de viagem



Fonte: Traduzido de Arbex e Cunha (2020).

Há diversas técnicas na literatura para o agrupamento de áreas será utilizado o índice de Moran, que é usado para estudar autocorrelação espacial (Yuan *et al.*, 2018). O Índice de Moran Global pode representar o agrupamento de toda a região, mas não pode determinar a área do agrupamento (Zhao *et al.*, 2014). O Índice de Moran Local pode refletir o grau de autocorrelação espacial de cada local da amostra. As equações, para calcular os índices de Moran, são as seguintes (Liu *et al.*, 2019):

$$\text{Moran's } I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})} \quad \text{eq. 5}$$

$$\text{Local Moran's } I = \left(\frac{x_i - \bar{x}}{m} \right) \sum_{i=1}^n W_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad \text{eq. 6}$$

$$m = \left(\sum_{j=1, j \neq i}^n x_j^2 \right) / (n - 1) - \bar{x}^2 \quad \text{eq. 7}$$

em que x_i e x_j são os valores da amostra i e j , respectivamente, n é o número total de células do Grid, \bar{x} é o valor NDVI médio da área de estudo e W_{ij} é a matriz de peso espacial. O Índice de Moran varia entre -1 e +1. Quando o índice é +1, indica que indica que os padrões observados estão agrupados no espaço. Por outro lado, quando o Índice de Moran é igual a -1 implica espalhamento (Tepanosyan *et al.*, 2019). Quando o índice de Moran é próximo ou igual a zero, indica ausência de autocorrelação.

2.4.3 Armazenamento de dados

O AWS S3 (serviço de armazenamento simples, do inglês *Simple Storage Service*) é um serviço de armazenamento de arquivos, também chamado de objetos com foco em escalabilidade, disponibilidade, segurança e performance (ROBINSON, 2008).

Segundo Palankar *et al.* (2008), o S3 tem como objetivo fornecer armazenamento como um serviço de baixo custo e alta disponibilidade, com um modelo de cobrança simples por uso. Os autores fazem avaliação da capacidade do S3 de fornecer suporte de armazenamento para projetos científicos de grande escala com base em uma perspectiva de custo, disponibilidade e desempenho. Identificam, ainda, um conjunto de funcionalidades adicionais que os serviços de armazenamento com uso intensivo de dados devem oferecer.

Segundo os desenvolvedores, no manual do usuário, o S3 foi desenvolvido intencionalmente com um conjunto mínimo de recursos com foco em simplicidade e robustez. sendo algumas das funcionalidades (AMAZON, 2021):

- (i) Criar buckets – criação para de um bucket que armazena dados com detalhes escolhidos pelo usuário. Os buckets são contêineres fundamentais no Amazon S3 para armazenamento de dados físicos.
- (ii) Armazenar dados – possibilidade de armazenar uma quantidade ilimitada de dados em um bucket. É possível carregar quantos objetos for necessário em um bucket do Amazon S3. Cada objeto pode conter até 5 TB de dados. Cada objeto é armazenado e recuperado usando uma chave exclusiva atribuída pelo desenvolvedor.

(iii) Download de dados – é possível fazer download dos dados ou permitir que outras pessoas façam a qualquer momento.

(iv) Permissões – possibilidade de permitir ou negar permissões a outras pessoas que desejam carregar ou baixar dados no bucket do S3. Os mecanismos de autenticação da Amazon ajudam a manter os dados protegidos contra acesso não autorizado.

A computação elástica em nuvem (do inglês *Elastic Compute Cloud* – EC2) é um dos serviços fornecidos pela Amazon que fornece acesso a instâncias de servidor sob demanda como um serviço. O serviço web disponibiliza capacidade computacional segura e redimensionável na nuvem. Ele foi projetado para facilitar a computação em nuvem na escala da web para os desenvolvedores. A interface de serviço permite que o EC2 seja *configurado* sem muito esforço oferecendo controle completo de seus recursos computacionais. Os recursos possibilitam a escolha de processador, armazenamento, rede, sistema operacional e modelo de compra.

2.4.4 Análise e visualização de dados

Ferreira *et al.* (2007) e Holmberg *et al.* (2016) afirmam que os padrões de viagens se tornaram, gradualmente, mais difíceis de se prever. Segundo Franco *et al.* (2019), várias razões contribuem para esse novo comportamento, incluindo estilo de vida, aumento da autonomia e flexibilidade.

Floridi (2012) cita Platão que, segundo Crátilo, 390ac: “o jogo será ganho por aqueles que sabem fazer e responder a perguntas”. O autor afirma que endereçar os problemas de *big data* é uma questão de entender os pequenos padrões, sendo uma das mais importantes questões saber o que se está procurando. A construção da análise e visualização dos dados será para responder a uma série de perguntas que comporão a metodologia e torna-se chave neste capítulo.

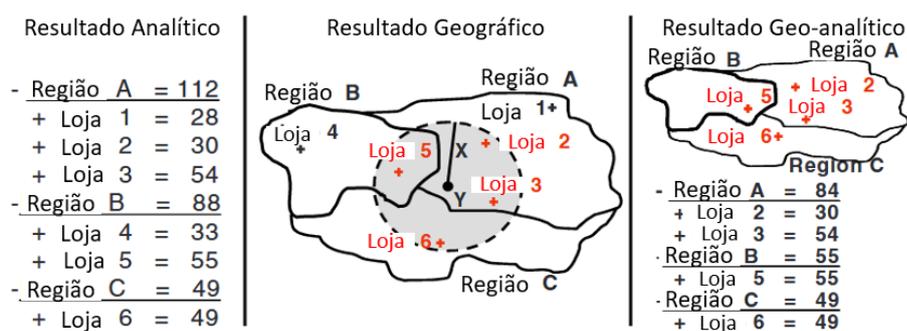
Para a análise da melhor mobilidade humana, o principal desafio da análise de dados no SBE, segundo Anda *et al.* (2017), refere-se à reconstrução das viagens individuais. Os dados SBE permitem, além da reconstrução individual das viagens, a identificação de padrões de deslocamentos, com a capacidade de atrelar viagens e dados socioeconômicos dos usuários (Bagchi e White, 2005).

Neilson *et al.* (2019) afirmam que a análise visual depende do reconhecimento de padrões e outras informações significativas. Eles dizem que, visualizações bem projetadas

ajudam o usuário a obter informações sobre os dados com pouco esforço cognitivo. Adicionam, ainda, que, dados fora do padrão (do inglês *Outliers*) e agrupamentos (do inglês *Clusters*) podem ser identificados sem esforço cognitivo, uma vez que se tornam aparentes quando plotados em gráficos e painéis visuais. Telhada *et al.* (2013) afirmam que o design e planejamento de sistemas de transporte geralmente são tarefas complexas devido aos inúmeros atores envolvidos. Essa complexidade se materializa na dificuldade de articular as diferentes fontes de coletas e relacionamento entre elas. Os autores propõem um framework com ferramentas auxiliares de apoio à decisão com base em técnicas de BI com fim de transformar a grande quantidade de dados disponíveis em informações precisas e oportunas para o processo de tomada de decisões. Segundo Sheriff (2009), as ferramentas mais comuns na utilização dos BIs são: (i) de consultas; (ii) de relatório; (iii) de processamento analítico on-line (do inglês *Online Analytical Processing – OLAP*); (iv) de visualização; (v) de mineração

Fidalgo *et al.* (2004) apresentam uma arquitetura baseada no esquema em estrela e especificada para projetar esquemas dimensionais geográficos. Os autores conectam o *Data Warehouse* (DW), que é um banco de dados dimensional para fornecer suporte à decisão por meio de técnicas OLAP, a outra tecnologia também utilizada para fornecer suporte à decisão, o Sistema de Informação Geográfica (GIS). A arquitetura dos autores pode ser traduzida pela conexão entre os bancos, conforme a *Figura 14*.

Figura 14 – Cruzamento de dados analíticos com dados geográficos



Fonte: traduzido de Fidalgo *et al.* (2004).

Andrienko *et al.* (2017) analisam dados visuais em transportes com abordagens analíticas. Os autores afirmam que visar a conscientização dos profissionais de transporte e da ciência de dados sobre o potencial para resolver problemas complexos que emerge da combinação do poder de computadores com as capacidades únicas de humanos suportados por

interfaces visuais interativas. Os autores apresentam os seguintes subitens na discussão das ferramentas e formas de visualização dos dados: (i) Detalhes de movimentos individuais; (ii) Variação das rotas percorridas; (iii) Dinâmica de movimento ao longo de uma rota; (iv) Atribuindo origens e destinos; (v) Movimento Coletivo em um território; (vi) Eventos; (vii) Contexto do Movimento; (viii) Impactos e riscos.

Na **Figura 15** se resumem vários tipos de gráficos avançados para visualizarem-se dados de transporte identificados por Higgins *et al.* (2017).

Figura 15 – Cruzamento de dados analíticos com dados geográficos

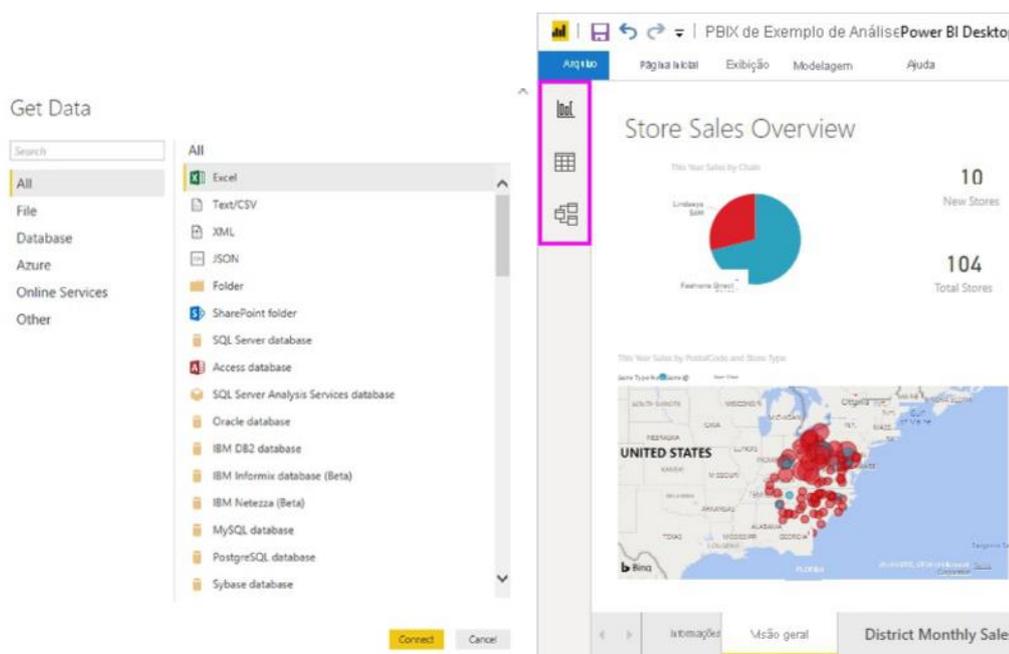
Plotagem	Uso	Ferramentas convencionais
 <p>Mapa Geográfico</p>	Os mapas geográficos são usados para mostrar a correlação entre dados não geográficos e áreas geográficas.	Esri ArcGIS, QGIS, Google Fusion Table
 <p>Mapa de fluxo</p>	São utilizados para mostrar o fluxo de entre lugares.	Microsoft PowerPoint, Visio, ArcGIS, Tableau, Microsoft Power BI, SankeyMatic
 <p>Mapa de dispersão</p>	Os gráficos de dispersão são comumente usados para mostrar a relação entre um determinado par de duas variáveis.	Microsoft Excel, Google Sheets, Tableau, Qlik, Microsoft Power BI
 <p>Mapa de rede</p>	Neste tipo de gráfico, os dados são apresentados como uma rede de nós e links. O tamanho e a cor dos nós e links podem representar o valor de um atributo de dados.	Microsoft Excel, Google Sheets, Tableau, Qlik, Microsoft Power BI
 <p>Mapa de calor</p>	As cores são usadas para representar o valor das células em uma matriz bidimensional.	Microsoft Excel (NodeXL add-on), Tableau, Qlik (D3.js extension), Google Fusion Tables, Microsoft Power BI

Fonte: adaptada de Higgins *et al.* (2017).

O Power BI constitui uma Plataforma do Windows com uma coleção de serviços de software, aplicativos e conectores para transformar fontes de dados em informações coerentes e visualmente interativas. Segundo Aspin (2018), o Power BI começa pela conexão com fontes de dados no Power BI Desktop, modelagem dessa informação e criação de um relatório. É possível, então, publicar esse relatório em um serviço web e compartilhá-lo para que outros usuários possam exibir e interagir com o relatório. Na **Figura 16** é possível identificar exemplos

de conexões e exemplo das exibições com relatório. Segundo Hart (2021), há três exibições disponíveis no Power BI Desktop: (i) Relatório: nessa exibição, é possível criar relatório e visuais; (ii) Tabela de Dados: nessa exibição, é possível consultar as tabelas, medidas e outros dados usados no modelo de dados associado ao relatório; (iii) Modelo: nessa exibição, é possível gerenciar as relações entre tabelas de um modelo de dados.

Figura 16 – Exemplo de conexões de dados do Power BI



Fonte: adaptado de Hart (2021)

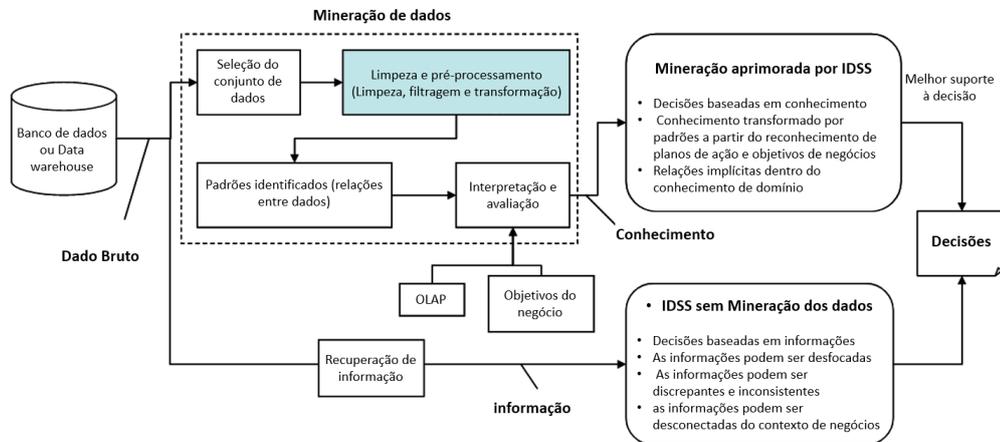
2.4.5 Tomada de decisões a partir de indicadores do sistema

A medição de desempenho é uma forma de monitorar o progresso em direção a um resultado ou objetivo (Souza *et al.*, 2005). Segundo Souza *et al.* (2005), é necessário estabelecer um objetivo ou direção do resultado para que indicadores e o monitoramento deles seja possível. Tuyen *et al.* (2018) afirmam que, apesar do rápido crescimento dos dados de transporte, a maioria dos dados não é efetivamente usado para a tomada de decisões devido à falta de ferramentas analíticas eficientes.

Segundo Liu *et al.* (2009), o sistema integrado de apoio à decisão (do inglês *Integrated Decision support system – IDDS*) é um sistema de informação interativo, baseado em computador projetado para apoiar soluções em problemas de decisão. Na **Figura 17** mostra-se

como a integração de ferramentas e avaliação, por meio da mineração dos dados, melhora a tomada de decisões.

Figura 17 – Arquitetura para tomada de decisão a partir de BI e Ferramenta de modelagem



Fonte: traduzida de Liu *et al.* (2009)

2.5 Conclusão do capítulo

Neste capítulo foi introduzido o conceito de mobilidade como um serviço e apresenta os diferentes tipos de DRT. Na condução da revisão da literatura foram apresentadas a evolução dos métodos, das formas de uso e da tecnologia com o decorrer do tempo.

Com a evolução tecnológica os métodos e técnicas evoluíram e as formas de implantação foram apresentadas no contexto de sistema de transporte integrados. As principais diretrizes dos principais trabalhos correlatos podem ser resumidas em:

- determinação do conjunto de dados a serem utilizados;
- determinação da área de serviço;
- determinação da frota para atendimento;
- determinação dos parâmetros de atendimento;
- determinação dos indicadores de performance para avaliação do sistema DRT;

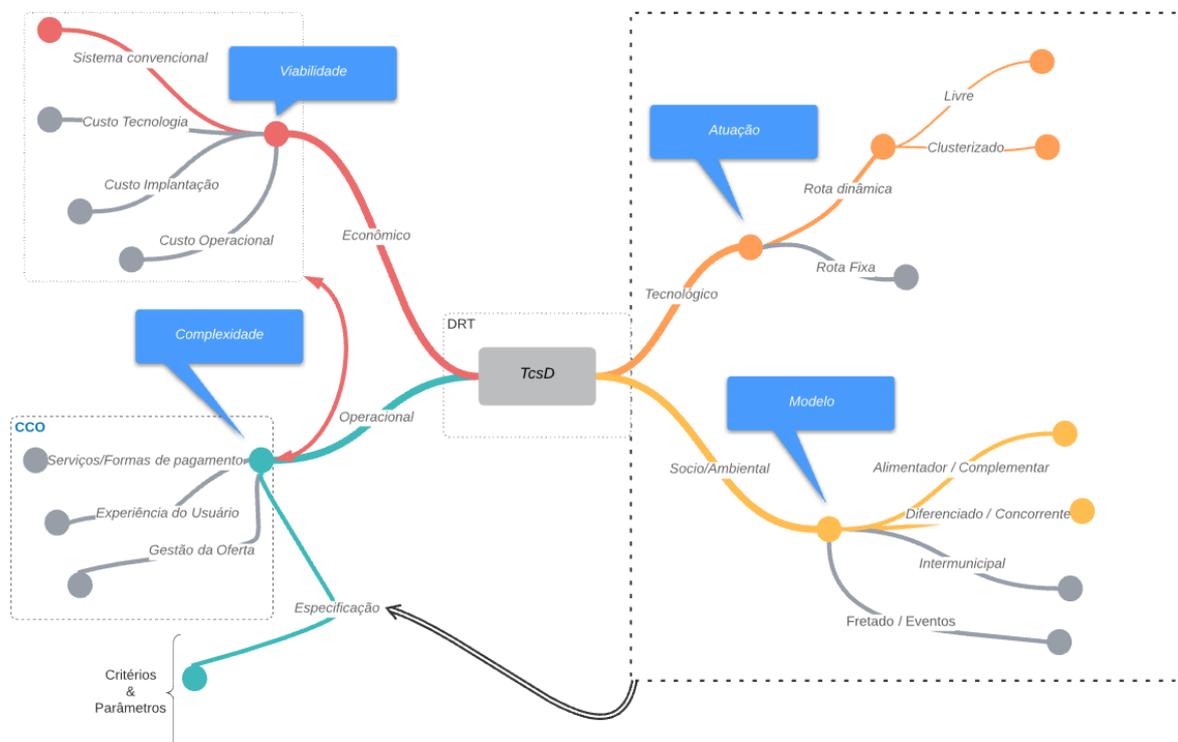
Com os conceitos e técnicas estabelecidos para o DRT se fez necessário a apresentação dos dados necessários para cumprir o objetivo da modelagem do sistema proposto. Foram apresentadas as técnicas de ETL para cruzamento dos dados heterogêneos, como eles se relacionam e como são utilizados em ferramentas BI para extração de indicadores para tomada de decisões na etapa de modelagem.

3 MÉTODO DE PESQUISA

Conforme apresentado no sub-capítulo 1.3 (Estrutura da dissertação), o método de pesquisa consiste em seguir as etapas do *Action Design Research* (ADR). A etapa de design do método ADR é interligada com as demais etapas e depende da avaliação e aprendizado do diagnóstico, com solução centrada no problema e nos objetivos. A seguir é apresentado o framework da pesquisa que se inicia no diagnóstico e problema do setor, visto que existe a necessidade de encontrar alternativas para o serviço de transporte público no Brasil, em que a tarifa é a única financiadora do sistema de transporte na maioria dos municípios.

Nesse contexto, é necessário encontrar um modelo de DRT que viabilize sua implantação para melhoria da qualidade dos serviços ofertados e redução dos custos totais do transporte público. O esquema apresentado na *Figura 18* foi construído a partir da revisão da literatura e tem por objetivo identificar as opções de implantação de um sistema sob demanda. Os itens destacados tratam de um sistema viável, complementar e substitutivo ao sistema de transporte convencional, o “Transporte compartilhado sob demanda” (TcsD). Existem outras etapas e características para diferentes sistemas DRT, não abordados neste estudo.

Figura 18 – Opções para implantação de TcsD



Fonte: elaborada pelo autor.

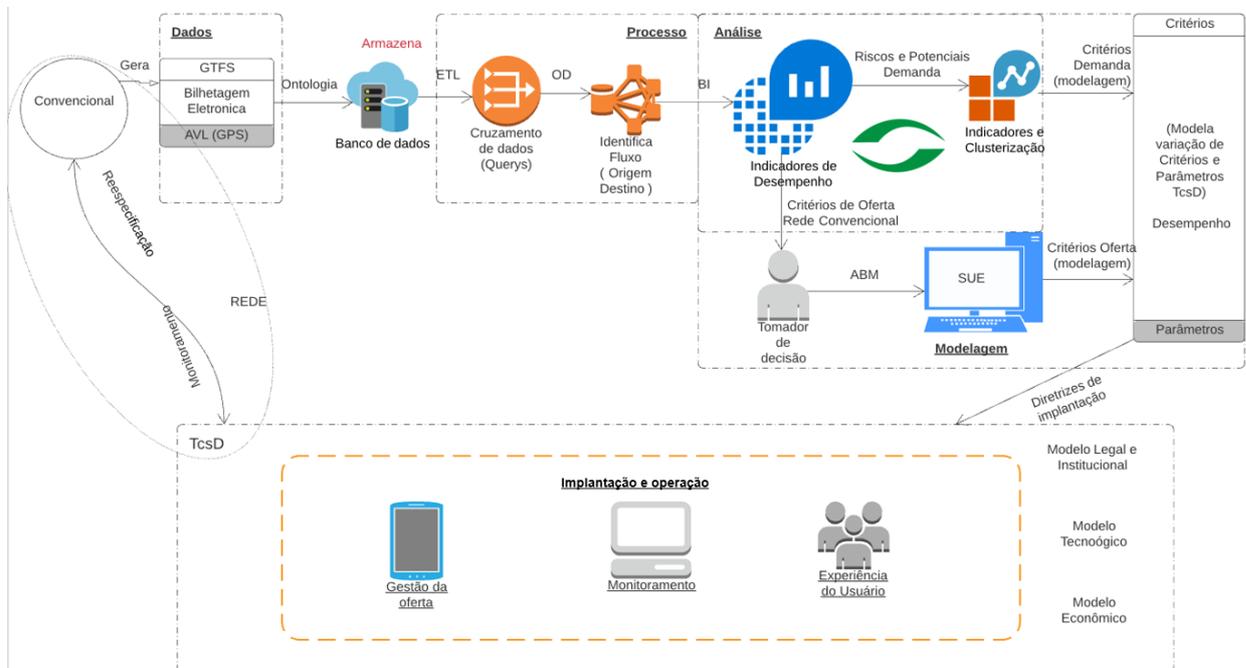
No contexto deste estudo o TcsD possui rota dinâmica, seja em áreas delimitadas ou no contexto de atuação livre. O modelo de atuação pode ser concorrente aos aplicativos de carona onde a renda é maior e a distância percorrida pelos passageiros geralmente é menor em relação à média viajada na rede, ou também pode funcionar como complementar à rede convencional, seja no modelo alimentador em que o passageiro faz transbordo para sistema estruturante, ou modelo substitutivo de linhas de baixa demanda para melhora de eficiência da rede.

Para fazer a especificação da atuação com seus critérios e parâmetros são necessários uma série de informações para a modelagem de implantação, para isso o sistema convencional de transporte, com seus dados e características, serão o referencial.

3.1 Framework do procedimento

Na Figura 19 é apresentado o *framework* do procedimento proposto para implantação de TcsD. O procedimento tem quatro etapas, a saber: (i) dados, (ii) processo, (iii) análise, e (iv) modelagem. Além destas etapas, o TcsD também precisa incluir uma quinta etapa relacionada a implantação e operação, que deve retroalimentar os dados para melhoria contínua do sistema em operação. No entanto, esta dissertação tratou apenas das etapas (i) a (iv).

Figura 19 – Framework da pesquisa



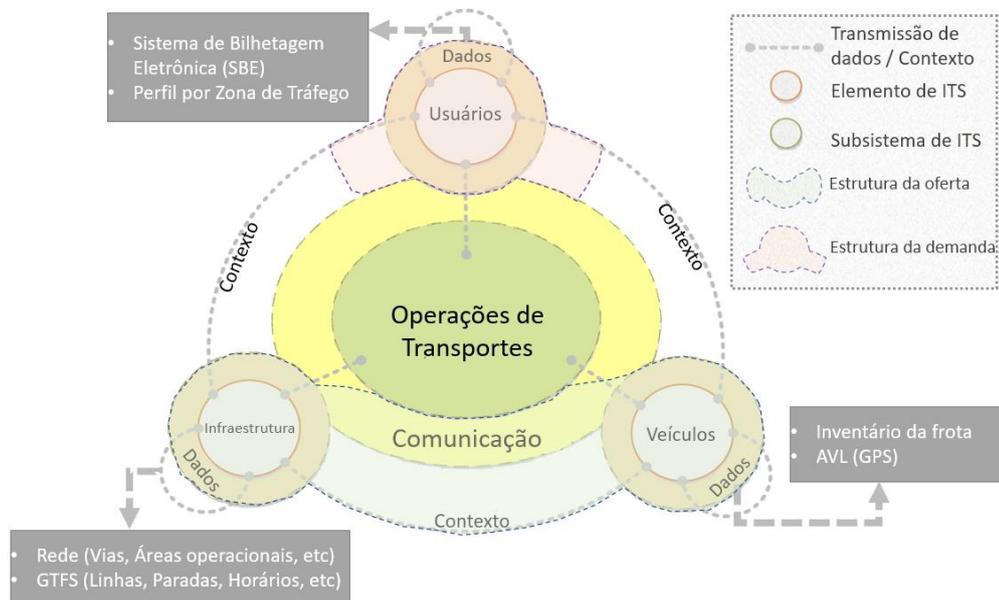
Fonte: elaborada pelo autor.

A primeira etapa do framework trata dos dados necessários para implantação de TcsD (etapa i). A segunda etapa detalha o processo de tratamento e manipulação dos dados (etapa ii). Da etapa de tratamento de dados são geradas tabelas estruturadas para carregamento no *Power BI* (BI) para realização das análises (etapa iii). As análises e leitura no BI do sistema são realizadas em ciclos e retroalimentando a tomada de decisão por meio dos indicadores pelo especialista. Estes indicadores fornecem parâmetros para a modelagem do TcsD (etapa iv). A modelagem da área de serviço do TcsD é identificada a partir da correlação espacial (1), e a modelagem de desempenho do sistema é realizada utilizando o software Visum (2021) (2). Estas etapas estão detalhadas nos subcapítulos a seguir.

3.2 Etapa 1: Dados para implantação de TcsD

A **Figura 20** apresenta-se uma adaptação da **Figura 7**, do subitem 2.3 na revisão da literatura, em relação aos tipos de dados que serão utilizados por grupo de contexto: usuários, infraestrutura e veículos, cujos elementos foram detalhados nos subitens a seguir desse capítulo.

Figura 20 – Relação dos dados, ITS e contexto no Transporte Público



Fonte: elaborado pelo autor, adaptado de Lin *et al.* (2017) com os conceitos de Álvarez *et al.* (2012).

Na Tabela 4 é detalhada a proposição de dados necessários para implantação de TcsD. Estes dados foram detalhados no subitem 2.3 na revisão da literatura.

Tabela 4 – Tipos de dados necessários para implantação de TcsD

Dado	Especificação	Tipo de dado	Estrutura temporal
Especificação do sistema de transporte	<i>General Transit Feed System (GTFS)</i> : padrão de dados para informação do transporte coletivo	GTFS	Planejamento
Dados de monitoramento do sistema de transporte (GPS)	Nó de identificação do monitoramento a cada 15 segundos por AVL/GPS (tecnologia embarcada)	CSV / JSON	Realizado
Dados de bilhetagem do sistema de transporte (SBE)	Dado bruto de bilhetagem coletado por validador (tecnologia embarcada)	CSV / XML / JSON	Realizado
Rede	É o grafo que representa o conjunto de elementos da estrutura urbana. Vias, GTFS, bilhetagem (SBE), execução das viagens (GPS), território (ZT ou Grid).	SHP	Planejamento
Zonas de tráfego / GRID	Zonas de tráfego e Grid IPEA	SHP	Planejamento

Fonte: elaborada pelo autor.

Todos os dados devem ser armazenados de forma que possam ser relacionados entre si. Apesar de existirem diversas fontes de dados, todos eles foram alocados na estrutura S3 da Amazon que garante segurança ao dado e possibilidade de automatização da etapa de ETL por meio de computação em nuvem (EC2).

Os dados de GPS e SBE são dados que retratam a operação e devem ser recebidos no formato CSV, XML ou JSON. Na *Figura 21* é possível verificar um exemplo desse tipo de arquivo para uma cidade qualquer. Esses dados, normalmente, são repassados pela empresa de transporte coletivo, por meio do fornecedor de bilhetagem eletrônica, ou pelo município que concede o serviço e, portanto, deve ter acesso ao dado.

Figura 21 – Amostra de dado de bilhetagem

```

BANCO_VIAGENS.CSV - Bloco de Notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
REV_ID;ENT_ID;ENT_NOME;REV_NUM_SEQ_VIAGEM;REV_SENTIDO_VIAGEM;TIPO_LINHA;LIN_CODIFICACAO;LINHA_DE_BLOQUEIO;VEI_PREFIXO;D
ATA;HORAINI;HORAFIN;DURACAO;TOTALGIROS;REV_VALOR_TARIFA;REV_CATRACA_INI;REV_CATRACA_FIM;BOTOEIRA;VALBOTOEIRA;QTDE_CARTA
O_RECOLHIMENTO;VLR_CARTAO_RECOLHIMENTO;QTDE_CARTAO_PAGANTE;VLR_CARTAO_PAGANTE;QTDE_CARTAO_PAGANTE_INT;VLR_CARTAO_PAGANT
E_INT;QTDE_GRA;
47371052;2;
LTDA;1;Ida;LINHA;0051;;7039;01/11/2018;05:53;07:37;01:43;83;3.15;0;0;34;124,1;0;0;45;131,4;0;0;4;
47371054;2;
LTDA;1;Volta;LINHA;REV_ID;ENT_ID;ENT_NOME;REV_NUM_SEQ_VIAGEM;REV_SENTIDO_VIAGEM;TIPO_LINHA;LIN_CODIFICACAO;LINHA_DE_BLOQUEIO;VEI_PREFIXO;I
47371057;2;EMPRESA;ATA;HORAINI;HORAFIN;DURACAO;REV_VALOR_TARIFA;REV_CATRACA_INI;REV_CATRACA_FIM;TIPO_USUARIO;TIPO_USO;USUARIO;HORA;VALOR;
LTDA;1;Ida;LINHA;47385100;8; URBANOS;1;Ida;linha;0704;;4202;01/11/2018;08:16;09:42;01:25;3,15;0;0;VALE;Débito Utilizaçã
47371070;2;EMPRESA;50.04.00191195;08:27:25;3,65; URBANOS;1;Ida;linha;0704;;4202;01/11/2018;08:16;09:42;01:25;3,15;0;0;ESCOLAR;Débito
47371072;2;EMPRESA;Utilização ;50.05.00168704;09:04:34;1,82; URBANOS;1;Ida;linha;0704;;4202;01/11/2018;08:16;09:42;01:25;3,15;0;0;BOTOEIRA;Pagto
47371074;2;EMPRESA;Dinheiro ;50.01.00013562;08:38:51;3,65; URBANOS;1;Ida;linha;0704;;4202;01/11/2018;08:16;09:42;01:25;3,15;0;0;BOTOEIRA;Pagto
47371076;2;EMPRESA;47384480;4; LTDA;1;Ida;linha;0107;;8564;01/11/2018;22:22;23:01;00:39;3,15;0;0;VALE;Débito Utilizaçã
LTDA;2;Volta;LINHA;50.04.00275622;22:26:00;3,65; LTDA;1;Ida;linha;0107;;8564;01/11/2018;22:22;23:01;00:39;3,15;0;0;ESCOLAR;Débito
47371078;2;EMPRESA;47384480;4; LTDA;1;Ida;linha;0107;;8564;01/11/2018;22:22;23:01;00:39;3,15;0;0;ESCOLAR;Débito
47371080;2;EMPRESA;Utilização ;50.05.00163777;22:27:17;1,82; LTDA;2;Ida;LINHA;Utilização ;50.05.00163777;22:27:17;1,82;
47371082;2;EMPRESA;47384480;4; LTDA;1;Ida;linha;0107;;8564;01/11/2018;22:22;23:01;00:39;3,15;0;0;VALE;Débito Utilizaçã
47385734;2;EMPRESA;50.04.00252103;22:37:24;3,65; LTDA;2;Volta;LINHA;50.04.00252103;22:37:24;3,65;
47384480;4; LTDA;1;Ida;linha;0107;;8564;01/11/2018;22:22;23:01;00:39;3,15;0;0;VALE;Débito Utilizaçã
47384480;4; LTDA;1;Ida;linha;0107;;8564;01/11/2018;22:22;23:01;00:39;3,15;0;0;BOTOEIRA;Pagto
47385136;10; LTDA ;1;Ida;linha;0700;;1073;01/11/2018;08:24;09:39;01:14;3,15;0;0;VALE;Débito
Utilização ;50.04.00070187;08:44:11;3,65;
  
```

Fonte: amostra de SBE adaptada pelo autor para preservar origem.

O *General Transit Feed System* (GTFS), padrão de dados para informação do transporte coletivo, representa a estrutura de planejamento do sistema de transporte e deve ser construído e/ou importado para o sistema analisado. Vale informar que é possível obter estes dados a partir do planejamento da operação ou ainda construir esta estrutura padrão em um software de geoprocessamento.

Os dados da rede (grafo) devem ser construídos e calibrados utilizando-se software de geoprocessamento. Para as análises do TcsD, a criação da matriz de distância entre embarque e desembarques e a atribuição da matriz origem destino são construídos a partir dos dados da operação e da rede.

Os dados do setor censitário devem ser coletados para a área de estudo. A forma geométrica e tabelas de atributos dos setores podem ser obtidas, respectivamente, no site do IBGE⁶. Ainda, os dados de grid são dados oficiais do governo e devem ser selecionados para a área de estudo, sendo fornecidos pelo IPEA, no site do IBGE⁷.

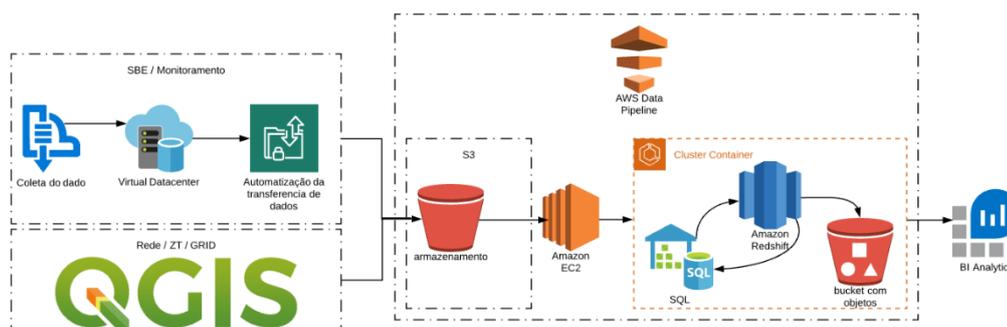
⁶https://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_de_setores_censitarios_diviso_es_intramunicipais/censo_2010/setores_censitarios_shp/
<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html>

⁷https://geoftp.ibge.gov.br/recortes_para_fins_estatisticos/grade_estatistica/censo_2010/

3.3 Etapa 2: Extração, Tratamento e Carregamento (ETL)

O processo de tratamento de dados é realizado no QGIS⁸ para arquivos geográficos e em nuvem por meio dos serviços da AWS⁹ para o restante dos dados estruturados. Na *Figura 22* é apresentado o caminho a ser executado (ou *data Pipeline*).

Figura 22 – Diagrama do fluxo dos dados (Pipeline)



Fonte: elaborada pelo autor.

Foi utilizado o conceito proposto por Vassiliadis *et al.* (2002) para descrever as etapas do ETL que são camada conceitual, camada de atributos, camada de transformação e a camada de relacionamento. A camada conceitual tem por objetivo o relacionamento de diversas fontes de dados heterogêneos buscando identificar um padrão que permita a construção da matriz origem e destino e da tabela semente. O detalhamento de cada validação permite a identificação de perfis de demanda através da ferramenta BI, com base em uma amostra temporal.

Nessa dissertação, a camada de transformação de dados foi baseada e adaptada da metodologia de Arbex e Cunha (2020). A partir do trabalho de Arbex e Cunha (2020), foi proposta uma atualização da metodologia com novas ações. A Tabela 5 apresenta o processo esquemático para as ações sequenciais necessárias até a construção de toda a estrutura de dados e o relacionamento entre eles. As etapas 4, 5 e 10 são as novas ações propostas adicionadas à metodologia original.

⁸ https://qgis.org/pt_BR/site/

⁹ <https://aws.amazon.com/pt/>

Tabela 5 – Processo proposto para cruzamento dos dados

Etapa	Entrada	Saída
1	Recebe dado SBE bruto	Armazena no S3 – SBE Bruto Data X
2	Recebe GPS do executado	Armazena no S3 – GPS Bruto Data X
3	Recebe ou constrói arquivo GTFS do mesmo período	Armazena no S3 – GTFS Data X
4	Constrói ZT a partir dos dados do Grid e Setores Censitários	Armazena ZT com atributos socioeconômicos, população e densidade
5	Corrige informações do GPS de linha e sentido a partir do GTFS	Armazena no S3 – GPS Corrigido
6	Cruzamento dos dados de SBE com GPS corrigido	Armazena SBE corrigido com posições de validação
7	Cria tabela de passageiros semente com regra de definição para destino	Armazena SBE Tabela Semente 1
8	Expande amostra para aplicação da Tabela Semente para matriz OD típico	Armazena SBE O/D típico
9	Cria tabela Sobe desce com base na Tabela Semente e expande para aplicação	Armazena SBE Sobe e desce típico
10	Cria Tabela Grid como base do Grid do IPEA com as informações das ZT, tabela semente e O/D típico	Armazena Tabela Grid com atributos para criação das áreas de serviço

Fonte: elaborada pelo autor.

O processo inicia com o recebimento dos dados, incluindo o GRID e setores censitários que são proposições do método adaptado, etapa 4 da Tabela 5. Os critérios de agrupamento dos setores para ZT devem seguir os seguintes parâmetros:

- **Uso e Ocupação do Solo:** Considera a tipologia e diversidade de usos do solo, com base em predominância de uso, como: residencial, comercial, industrial etc. Ainda, considera

aspectos de ocupação em função de seu caráter urbanístico, quanto à verticalização, horizontalização, unifamiliar ou multifamiliar, polos geradores de tráfego etc.

- Densidade demográfica: Buscar conciliar a dimensão demográfica e a densidade de ocupação de modo a balancear o número de habitantes particularmente nas áreas de ocupação já consolidadas.
- Características socioeconômicas: considera os perfis socioeconômicos da população residente de forma a caracterizar uma representação de predominância dos aspectos de renda, sociocultural, etnias ou religiosos.
- Barreiras geográficas naturais: são condicionantes topográficos, rios, lagos etc.
- Barreiras construídas pelo homem: como ferrovias, aeroportos etc.
- Fronteiras e limites jurisdicionais: compõe os limites administrativos

A Tabela 6 representa as operações necessárias para o agrupamento dos setores censitários em ZT.

Tabela 6 – Formas de agregação dos atributos

<i>Critério</i>	Atributo de origem	Operação matemática
<i>População</i>	População dos setores censitários	Soma população dos setores que formam ZT
<i>Domicílios</i>	Domicílios dos setores censitários	Soma dos domicílios dos setores que formam a ZT
<i>Renda</i>	Renda dos setores censitários	População total da ZT formada dividida pela renda total da zona formada
<i>Pessoas por domicílio</i>	Pessoas por domicílio dos Setores censitários	Média das pessoas dos setores que formam a ZT
<i>% por faixa etária</i>	% de pessoas por faixa etária dos setores censitários	Média de pessoas por faixa etária dos setores que formam a ZT.

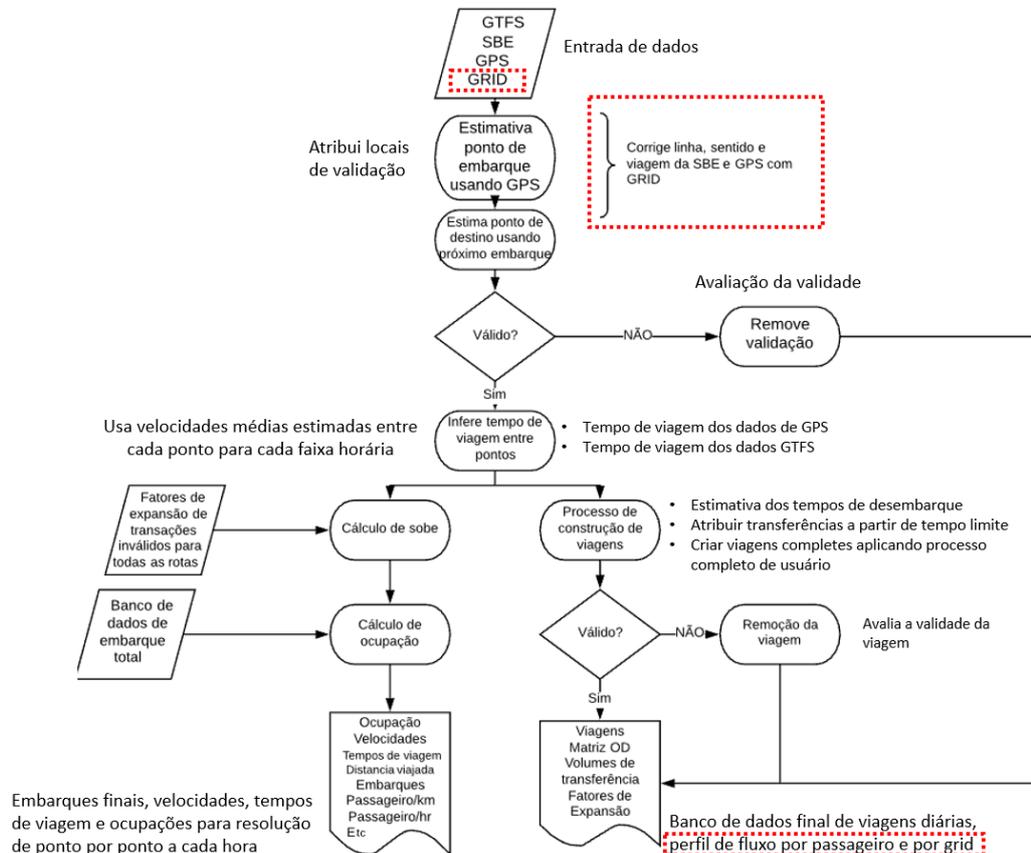
Fonte: elaborada pelo autor.

A Figura 23 é a adaptação da metodologia de Arbex e Cunha (2020) com os detalhes de cada etapa da manipulação dos dados. As contribuições propostas estão destacadas na imagem.

O processo inicia com o recebimento dos dados, incluindo o GRID e ZT que são proposições do método adaptado, etapa 4 da Tabela 5. O processo segue com a correção dos dados de posicionamento de GPS a partir dos dados de planejamento (GTFS), etapa 5 da

Tabela 5. A partir desta etapa é possível estimar os pontos de embarque de cada passageiro (PUDO) e o destino a partir do sequenciamento de viagens por ID de um mesmo cartão.

Figura 23 – Fluxograma para encontrar tabela de dados desagregados



Fonte: adaptado de Arbex e Cunha (2020).

Com a atribuição de destinos para a amostra válida, é possível identificar a distância percorrida e o tempo de viagem embarcado (IVTT). Dados relacionados à demanda dizem respeito ao passageiro, tipo de cartão, código do cartão, quantidade de validações, ordem das validações, localização da validação e ao volume por faixa horária. Na tabela semente cada viagem é caracterizada e a primeira origem de cada cartão é atribuída como base residencial, o que permite trazer as informações da base secundária de zonas de tráfego, como a renda, que será utilizada na modelagem da área de serviço.

Relacionando as informações acima, são geradas quatro tabelas: a "Tabela semente" em que os dados por viagem e por passageiro são armazenados para a construção do padrão de uso (

Tabela 7). Nesta tabela está incluído o fator de expansão que representa a expansão da amostra válida para todo o universo de passageiros, incluindo aqueles com pagamento em dinheiro ou os passageiros cuja posição de GPS atribuída seja inválida.

Tabela 7 – Tabela semente

[Cruzamento] Usuário / Cartão	Descrição do campo
ID registro	ID único do registro
Cartão	ID único do cartão
Data	data de validação
Hora	Hora, minuto e segundo de validação
Linha	Linha utilizada corrigida
Veículo	veículo embarcado
Tipo cartão	tipo do cartão
ID posição origem	ID posição do PUDO de embarque (regra VS GPS)
trip_id	ID único de viagem
data_ini_vg	Data início da viagem
hora_ini_vg	Hora, minuto e segundo início da viagem
data_fim_vg	Data fim da viagem
hora_fim_vg	Hora, minuto e segundo fim da viagem
ID Grid origem	ID único do GRID no momento do embarque
ID Grid destino	ID único do GRID no momento do desembarque
ID posição destino	ID posição do PUDO de desembarque (regra VS GPS)
Distância percorrida	Distância percorrida entre O e D
# Viagem por cartão	Quantidade de viagens deste ID único de cartão
Ordem viagem	Ordem de viagem deste cartão em 1 dia
Motivo da viagem	Casa, trabalho, estudo ou outros
Fator de expansão	Fator de expansão do passageiro em relação ao universo de análise, levando-se em consideração linha, faixa horária e local de embarque

Fonte: elaborada pelo autor.

A “Tabela OD típica”, expandida com o cruzamento dos dados de Rede, SBE, GPS, agrupa os dados para a construção de matriz, em lista, do padrão entre origens e destinos por tipo de dia e faixa horária (Tabela 8).

Tabela 8 –Tabela OD típica

[Cruzamento] OD	Descrição do campo
Origem	ID único de zona
Destino	ID único de zona
Distância percorrida	Distância percorrida na rede entre zonas por tipo
Tempo médio	Tempo médio percorrido entre zonas por tipo
Volume Estratificado	Volume por faixa horária entre origem e destino por tipo

Fonte: elaborada pelo autor.

A “Tabela sobe-desce típico” das viagens, com o cruzamento dos dados de GTFS, SBE e GPS, detalha as viagens diárias com a movimentação dos passageiros (Tabela 9).

Tabela 9 –Tabela sobe-desce típico

[Cruzamento] Stop Sequence	Descrição do campo
trip_id	Identificador único de viagem
Stop_ID	Identificador único de ponto
Stop sequence	Número sequencial do ponto em relação a viagem
Sobe	Quantidade de passageiros que subiu no PUDO
Desce	Quantidade de passageiros que desceu no PUDO
Ocupação	Ocupação do veículo no determinado PUDO
Desempenho	Ocupação / capacidade total do veículo
Renda média sobe	Média de renda de todos os usuários que embarcaram no PUDO
Renda média desce	Média de renda de todos os usuários que desembarcaram no PUDO
Distância média sobe	Distância média percorrida de todos os usuários que embarcaram no PUDO
Distância médio desce	Distância média percorrida de todos os usuários que desembarcaram no PUDO

Fonte: elaborada pelo autor.

A “Tabela grid”, com o cruzamento do Grid, ZT e tabela semente, apresenta os atributos por área (grid) que são agrupados para realizar a modelagem de identificação das áreas de serviço (Tabela 10), etapa 10 da Tabela 5.

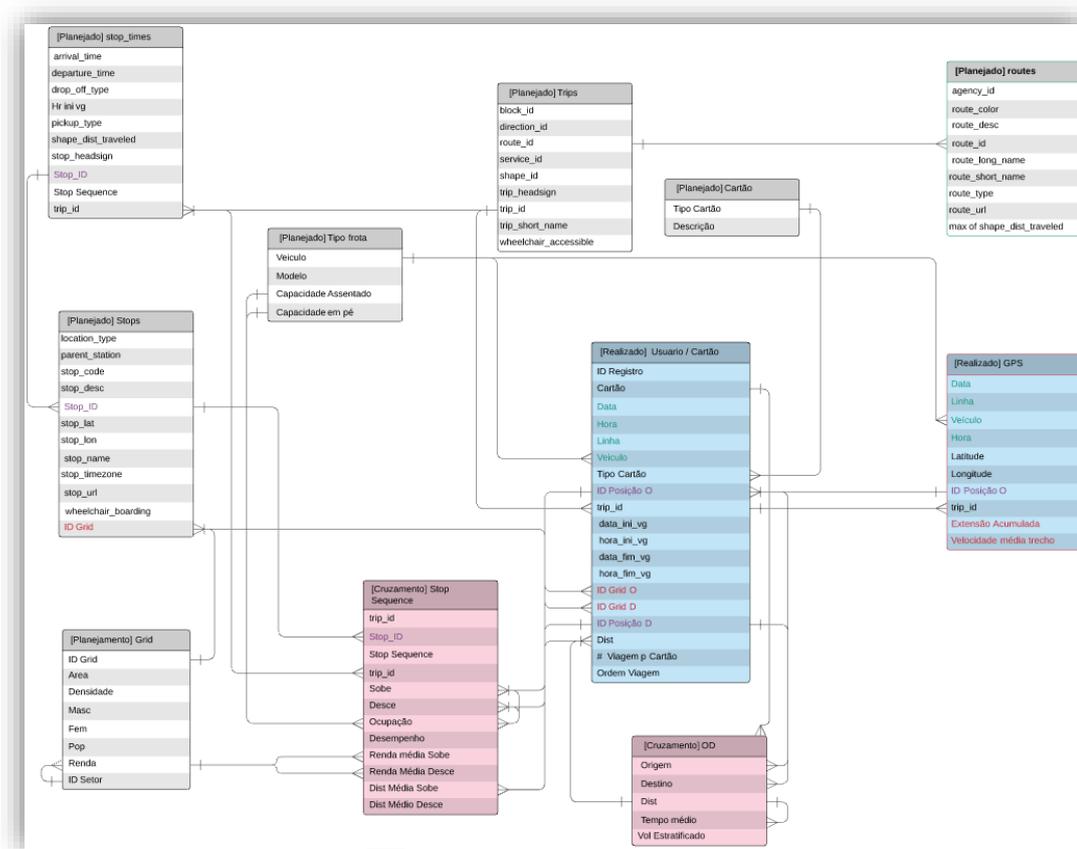
Tabela 10 –Tabela Grid

[Cruzamento] Grid	Descrição do campo
Grid_id	Id único do GRID
População	População total da área
Renda	Renda média por domicílio da área
Origem	Quantidade de passageiro que embarca no Grid (faixa horária)
Destino	Quantidade de passageiro que desembarca no Grid (faixa horária)
Distância percorrida a partir da origem	Distância média percorrida por quem embarca no Grid
Distância percorrida até o destino	Distância média percorrida por quem desembarca no Grid
Tempo médio embarcado	Tempo médio percorrido por quem embarca no Grid

Fonte: elaborada pelo autor.

A camada de relacionamento mostra como as tabelas se relacionam no BI. A *Figura 24* apresenta o diagrama de relacionamento das tabelas citadas, com seus atributos. Maiores detalhes da estrutura de cada uma das tabelas podem ser encontrados no APÊNDICE II – Tabelas de atributos.

Figura 24 – Diagrama de relacionamentos do banco de dados



Fonte: elaborada pelo autor.

3.4 Etapa 3: Análise do sistema convencional e indicadores para TcsD

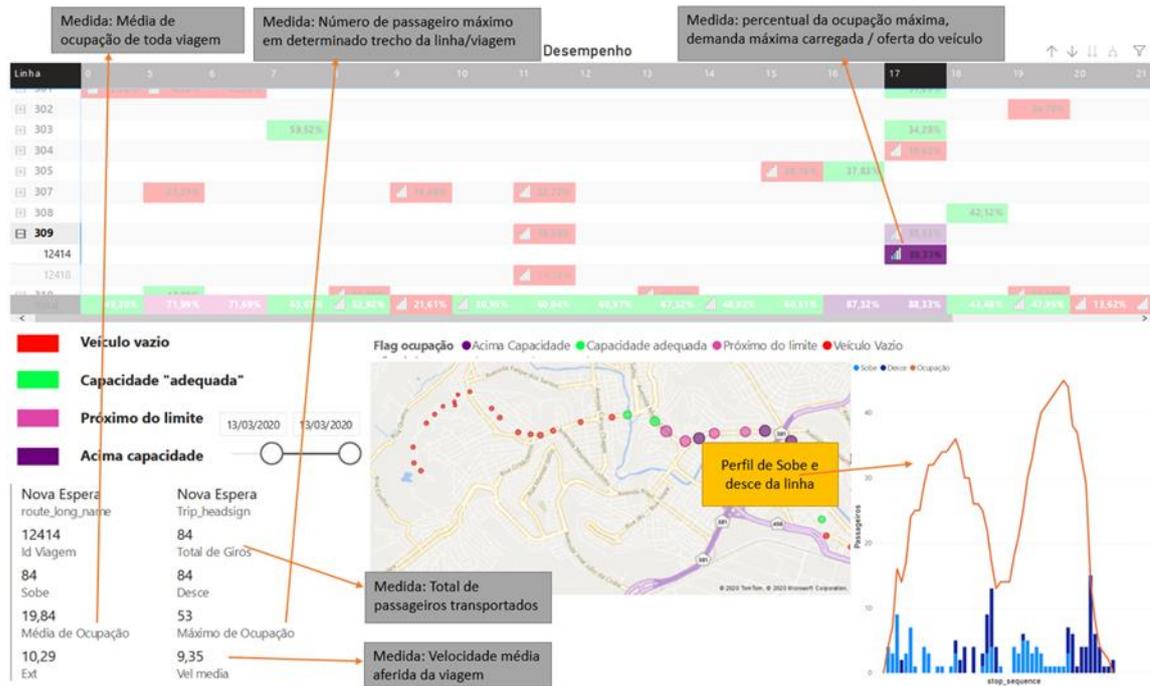
No BI é possível extrair as informações para calcular indicadores de análise da implantação do TcsD. Estas informações permitem, por exemplo, responder às perguntas norteadoras do processo de planejamento de um sistema:

- Qual perfil da demanda?
- Qual a origem de cada passageiro?
- Qual o destino do passageiro?
- Qual é estrutura da oferta atual? (Dados de planejamento: quantidade de veículo, motorista, tipo de veículo etc.)
- Qual o desempenho do sistema (oferta *versus* ocupação máxima)?

- Como são os fluxos de passageiros (onde se concentram, com quais volumes e tipos)?
- Qual o perfil de uso do transporte (extensão e tempo embarcado)?
- Qual a velocidade média estratificada (por linha, horário, tipo de veículo)?
- Qual é a receita por veículo?
- Qual é a receita por km?
- Qual é a produção quilométrica?
- Qual é o índice de desempenho (IPK – passageiro por KM)?
- Qual o uso unitário de veículos por linha/região?
- Qual o PMM (produção média mensal)?
- Qual o índice de renovação do veículo (utilização por faixa horária)?
- Qual o índice de renovação do passageiro?
- Qual a ocupação média das linhas?
- Qual a ocupação máxima dos veículos? Onde ocorre esta ocupação máxima?
- Qual a frequência estratificada (por linha, horário, sistema)?
- Qual o uso dos PUDOs (ponto de embarque e desembarque por passageiro e volume)?

Na **Figura 25** é apresentado um exemplo de um painel de visualização com parte dos indicadores em resposta às perguntas acima, elaborada no Power BI . O BI torna-se, então, uma ferramenta para diagnóstico do sistema em análise. Cada medida ou indicador pode ser diretamente acessada através de filtros ou seleção que retorna a medida ou o indicador em questão. Esse trabalho utiliza o Power Bi por ser uma ferramenta gratuita e de fácil integração com os pacotes Microsoft.

Figura 25 – Exemplo da visualização dos dados no Power BI



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Para implantação de um TcsD, devem ser investigadas as linhas de transporte público com frequência menores que 30 minutos e com demandas inferiores a 300 passageiros por hora, conforme ilustrado na **Tabela 11**. Esses limites foram definidos por *Kashani et al.* (2016). A **Tabela 11** permite ao especialista a tomada de decisão quanto a substituição do sistema convencional pelo TcsD.

Tabela 11 – Decisão para substituição de sistema convencional *versus* TcsD

Solicitação de passageiro por hora	Frequência em minutos		
	7.5	15	30
60	Substituir por TcsD	Substituir por TcsD	Substituir por TcsD
120	Substituir por TcsD	Substituir por TcsD	Substituir por TcsD
180	Substituir por TcsD	Substituir por TcsD	Investigar
240	Substituir por TcsD	Substituir por TcsD	Manter sistema
300	Substituir por TcsD	Substituir por TcsD	Manter sistema
600	Investigar	Manter sistema	Manter sistema

Fonte: adaptada de *Kashani et al.* (2016).

Além da demanda e da frequência, outros parâmetros podem afetar o desempenho do TcsD, conforme detalhado na Tabela 12. Estes parâmetros foram obtidos na literatura.

Tabela 12 – Parâmetros de referência para modelagem de performance DRT

Parâmetros	Intervalo	Unidade	Referência da informação
<i>Produtividade média</i>	Min 1,75	Pax / viagem	Costa <i>et al.</i> (2021)
<i>Tempo de espera médio</i>	Max 10	minuto	Alonso-González <i>et al.</i> (2018)
<i>Tempo de espera máximo</i>	Min 20 até metade do tempo médio de espera do sistema	minuto	Ronald <i>et al.</i> (2013)
<i>Capacidade dos veículos</i>	De 5 a 12	Pax / veículo	Costa <i>et al.</i> (2021)
<i>Fator máximo de desvio</i>	2,5 vezes	km	Archetti <i>et al.</i> (2018)
<i>Tempo de embarque por viagem solicitada</i>	30	segundo	Costa <i>et al.</i> (2021)
<i>Tempo adicional de embarque por passageiro</i>	10	segundo	Kale e das Gupta (2020)
<i>Custo máximo de viagem</i>	1,5 vezes	<i>Unidade monetária</i>	Papanikolaou e Basbas (2021)

Fonte: elaborada pelo autor.

Na Tabela 13 é apresentada a frota necessária para atendimento de uma determinada demanda, em uma determinada janela de tempo. A frota foi calculada a partir da proposição de Diana *et al.* (2006). Importante destacar que os autores realizaram testes de desempenho para validar estes valores, sendo reconhecido como padrão pela literatura.

Tabela 13 – Frota necessária considerado a quantidade de solicitações por janela de tempo

Quantidade de solicitações	Janela de tempo (minutos)			
	10	15	20	30
120	22 a 26	16 a 21	15 a 20	16 a 19
60	10 a 13	8 a 11	8 a 10	7 a 10
24	4 a 6	3 a 5	3 a 5	3 a 4
12	2 a 4	1 a 3	1 a 2	1 a 2

Fonte: adaptada de Diana *et al.* (2006).

3.5 Etapa 4: Modelagem TcsD

É possível que em uma modelagem da área de serviços todos os serviços sejam cobertos. A seguir é apresentada a modelagem da área de serviço do TcsD e em seguida a modelagem de desempenho do sistema.

Para identificar a área de serviço de um TcsD, calcula-se a autocorrelação espacial, pelo índice de Moran, de acordo com os trabalhos de Liu *et al.* (2019), Yuan *et al.* (2018) e Zhao *et al.* (2014). Para isto, foi utilizado os dados da Tabela Grid, que contempla dados da localização geográfica e perfil médio operacional por faixa horária. As áreas de serviço são definidas a partir da renda, população, taxa de embarque e distância média percorrida a partir da origem. O índice de correlação permite definir áreas de serviço por similaridade de comportamento dos usuários, que será utilizada para testar a performance do sistema TcsD.

Para a análise de desempenho do sistema utilizou-se o software Visum, da empresa PTV (VISUM, 2021), que permite modelar o transporte público e o compartilhado em um único modelo de rede e demanda. Apesar de alguns trabalhos utilizarem *softwares* que possibilitam modelagem microscópica e de agentes, como o Matsim, o Visum possui um módulo específico para modelagem de DRT e, por isso, foi o escolhido.

O Visum recebeu, em 2020, o módulo para modelagem microscópica baseado no nível de tempo e na escala do nó. A base de simulação para sistema DRT no Visum segue três passos: determinação da demanda, geração da solicitação da viagem, planejamento da viagem.

Na determinação da demanda, parte-se da base desagregada de pessoas gerada por meio dos dados do sistema convencional. Na etapa de geração da solicitação da viagem, desagrega-se a demanda atribuída a uma zona para diferentes solicitações de viagens em um processo estocástico por local e horário, bem como a demanda em nível do nó. As solicitações são criadas nos nós durante o intervalo de tempo selecionado. O tempo de solicitação de agendamento e o tempo máximo de espera são parte das métricas de desempenho, que são configuradas para definir a qualidade do atendimento e a influência a lógica de despacho de veículos.

Na etapa de planejamento da viagem calcula-se a oferta e o carregamento. Nessa etapa foram definidos o tamanho da frota e as especificações dos veículos (incluindo a capacidade de assentos), bem como os pontos de embarque e desembarque (PUDO). Os pedidos de viagem são repassados ao sistema de despacho, que determina os veículos que estão disponíveis e escolhe o melhor veículo com menor estimativa de custos para atender o pedido de viagem. O

custo considerado pelo sistema corresponde a função objetiva da otimização, seja de forma simples, tempo de viagem total ou de forma mais complexa, custo generalizado. Os parâmetros que determinam o nível de serviço dependem dos parâmetros especificados na configuração. O planejamento de viagem gera os caminhos dos veículos utilizando os parâmetros de acordo com o período de demanda, como, por exemplo a definição do tempo necessário para embarque e desembarque por solicitação de viagem, a especificação da frota com quantidade e capacidade dos veículos, fator de desvio máximo de rota e tempo máximo de desvio.

O algoritmo de despacho do Visum pode ser otimizado e configurado de duas formas, minimizando o número de veículos necessários ou maximizando o número de solicitações de viagens atendidas. O planejamento da viagem é executado na rede criada e deve incluir todas as ruas possíveis de operação do serviço, além de ponto de espera para os veículos que não estiverem em viagem. Os pontos de espera podem ser usados para realocação, o que indica que os veículos se moverão para a área de espera mais próxima após um certo período de inatividade.

4 APLICAÇÃO DO MÉTODO

O método foi aplicado em duas cidades de portes distintos, no Brasil, para evidenciar sua viabilidade em qualquer contexto: uma cidade de grande porte, com 2.255 mil habitantes e uma considerada de médio porte, com 190 mil habitantes (dados populacionais IBGE, 2020).

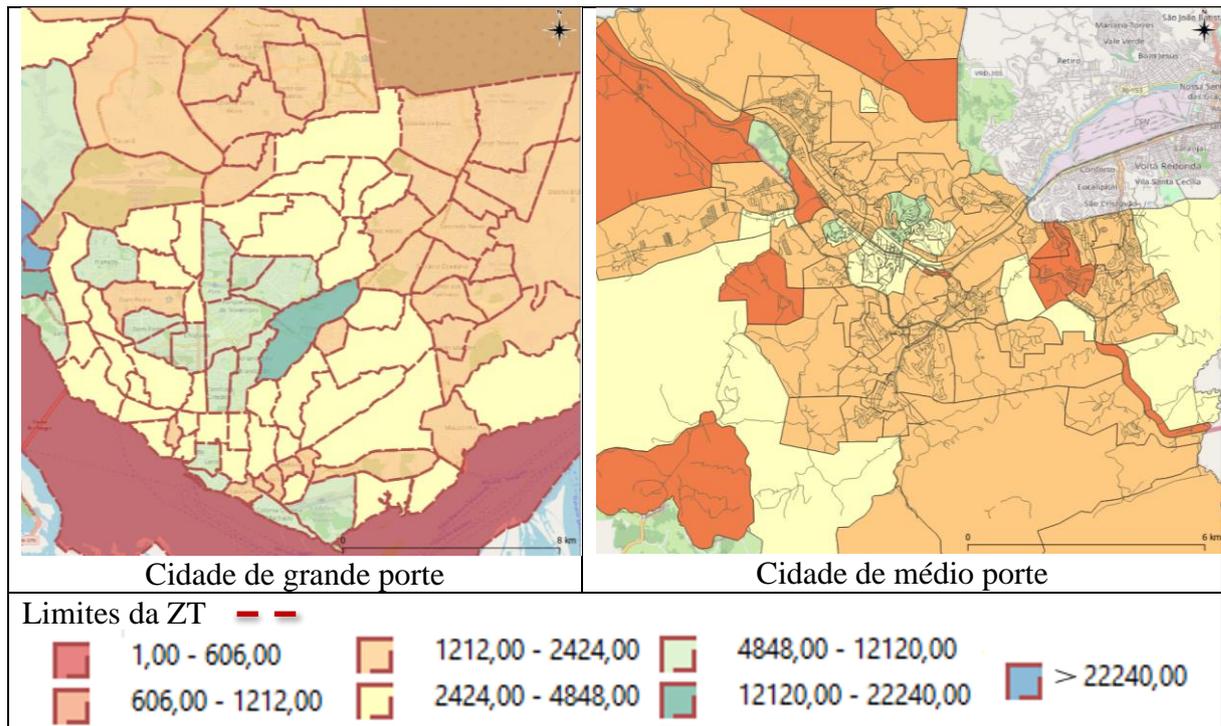
4.1 Utilização dos dados

Os dados referentes ao transporte público estão compreendidos entre outubro de 2020 a julho de 2021. Os volumes foram estratificados por faixa horária para representarem as variações reais. Todos os dados foram manipulados e disponibilizados no BI para as análises. Foram processados um total de 1,5 milhão de registros válidos para a cidade de médio porte e 86 milhões de registros válidos para a cidade de grande porte. Em ambas as cidades, só foram utilizados os registros que apareceram nos dados brutos de bilhetagem. Desses, mais de 95% tiveram compatibilidade com posições de GPS válidas, sendo considerados registros válidos. Em alguns casos, onde houve problema na transmissão de dados GPS ou os valores de latitude ou longitude foram iguais a zero, foi contabilizado o número dos passageiros para a expansão da matriz origem e destino (OD), mas não foi considerado os trajetos realizados por estes passageiros.

Na cidade de médio porte, em média, 38% dos usuários fazem o pagamento da tarifa em dinheiro, não sendo possível conhecer o local de desembarque deste usuário. Somado a estes, os passageiros que fazem apenas uma validação e aqueles excluídos pelos erros nos dados GPS, o total da amostra para utilização na aplicação do método foi de 40%. No caso da cidade de grande porte, 26% dos usuários fazem o pagamento em dinheiro. Somando-se os dados excluídos por erros no GPS, utilizou-se uma amostra de 47% dos usuários do sistema.

A *Figura 26* apresenta as ZT e suas respectivas rendas em destaque. Foi destacado este atributo nas ZT devido sua importância para a correlação espacial na criação das áreas de serviço.

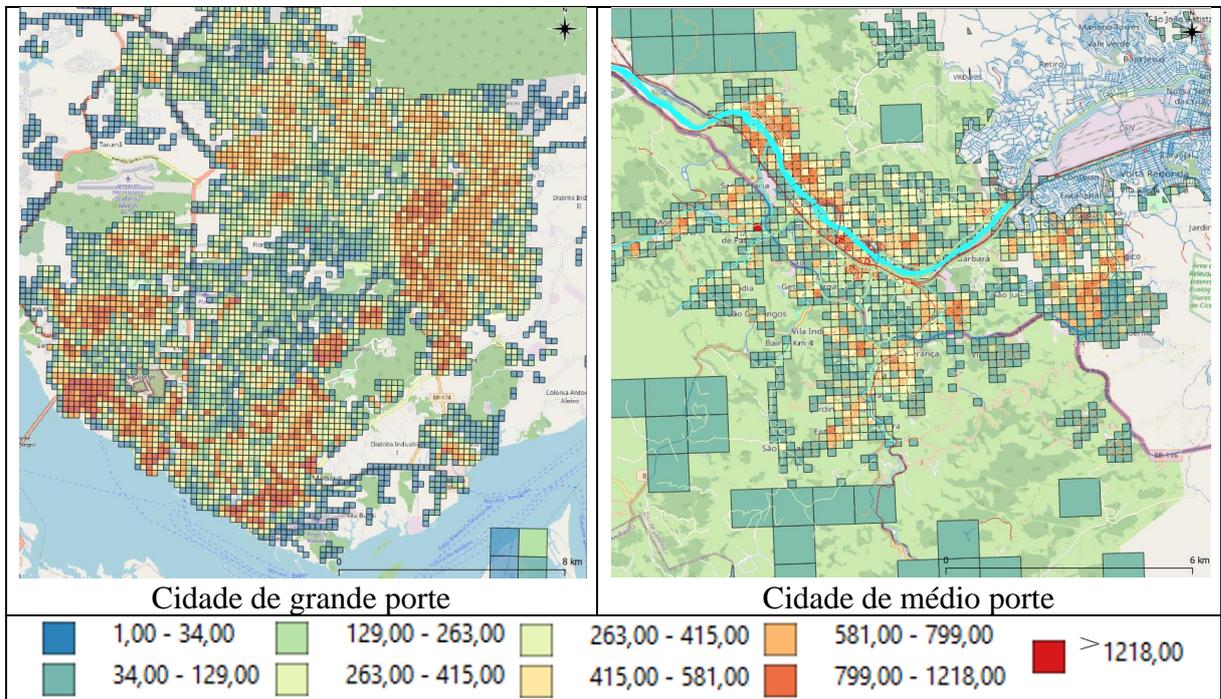
Figura 26 – Zona de tráfego e faixas de renda (segundo IBGE, em reais) nas duas cidades



Fonte: elaborada pelo autor.

A Figura 27 apresenta o GRID do Ipea que mostra a concentração populacional. Uma maior concentração populacional aumenta a possibilidade de uso para qualquer sistema de transporte, enquanto áreas pouco adensadas possuem um potencial de substituição de linhas regulares ineficientes por sistemas de atendimento sob demanda.

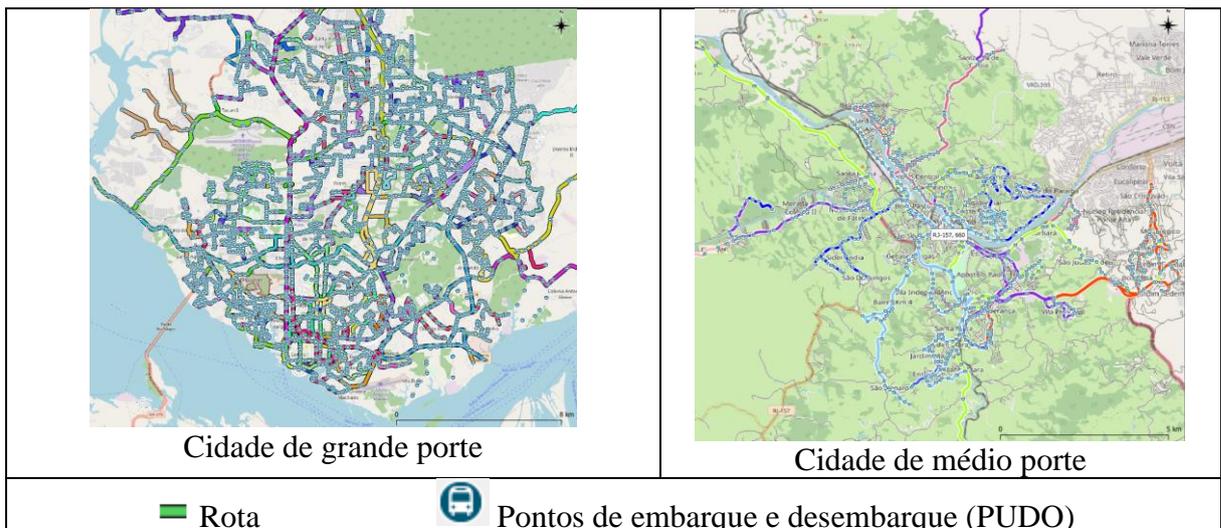
Figura 27 – Grid do IPEA com coloração por densidade demográfica



Fonte: elaborada pelo autor.

Os dados de GTFS do transporte coletivo das duas cidades foram importados para o QGIS e são representados na Figura 28. É possível identificar na imagem as rotas e os pontos de embarque e desembarque (PUDO) do sistema regular.

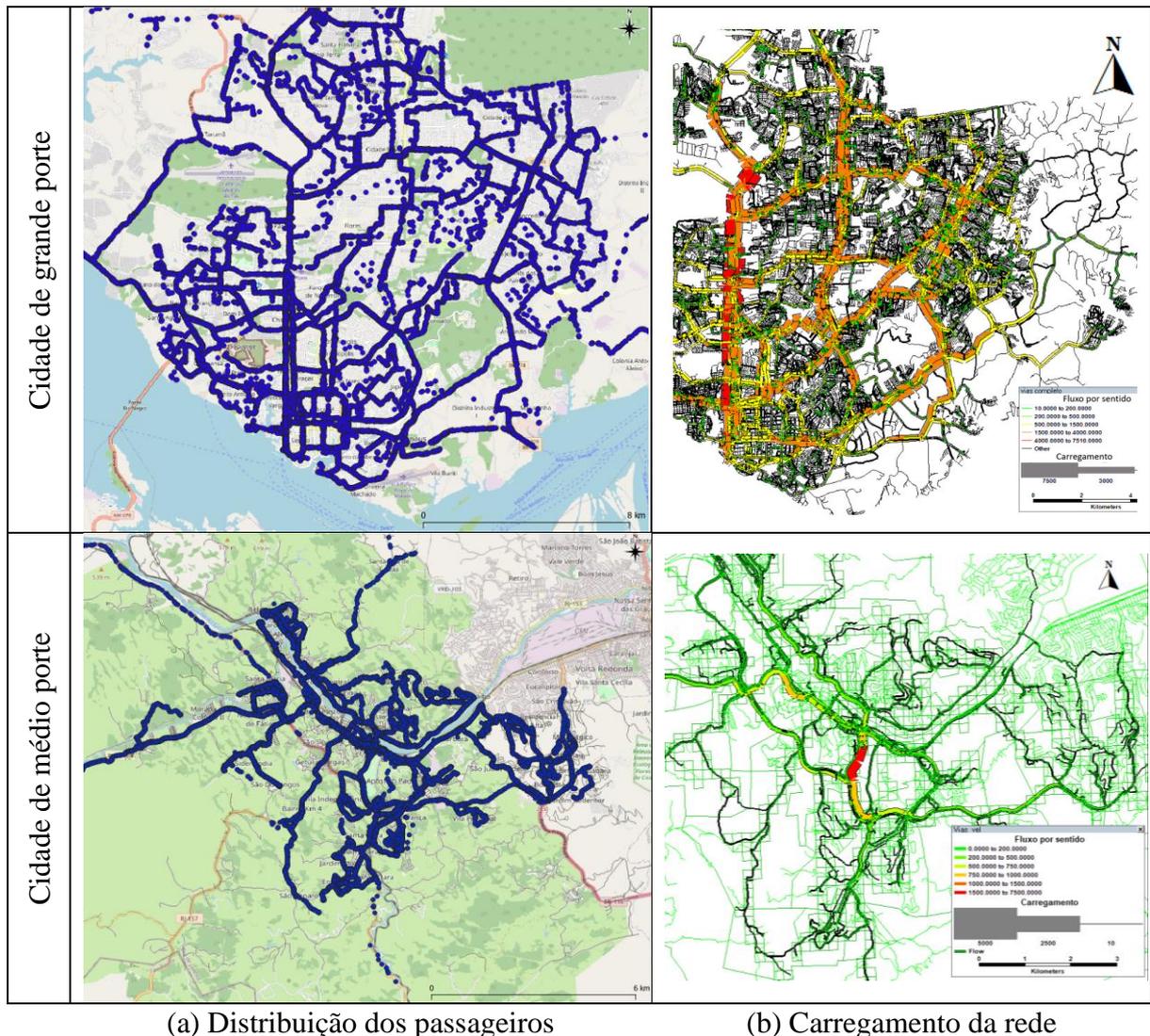
Figura 28 – GTFS – Dados de especificação do transporte com rotas e PUDOs



Fonte: elaborada pelo autor.

O dado bruto de bilhetagem, coletado do validador (SBE) com o cruzamento do posicionamento de GPS, permite geolocalizar cada passageiro, conforme o método de estimativa de ponto de embarque usando GPS, adaptado de Arbex e Cunha (2020). Da distribuição dos passageiros, para uma seleção temporal e respectivos destinos, é possível fazer o carregamento da rede do transporte convencional. A *Figura 29* mostra para as duas cidades a distribuição de passageiros e o carregamento, que é uma representação visual dos fluxos de deslocamentos na rede.

Figura 29 – Distribuição dos passageiros e carregamento da rede de transporte convencional



Passageiro ●

Fonte: elaborada pelo autor.

A *Figura 30* mostra alguns dos indicadores resumo obtidos no PowerBI¹⁰. É possível identificar o mapa de calor da concentração de passageiros, o perfil de demanda por faixa horária e os quantitativos por tipo de validação por cartão.

Figura 30 – Indicadores resumo para perfil da demanda no Power BI

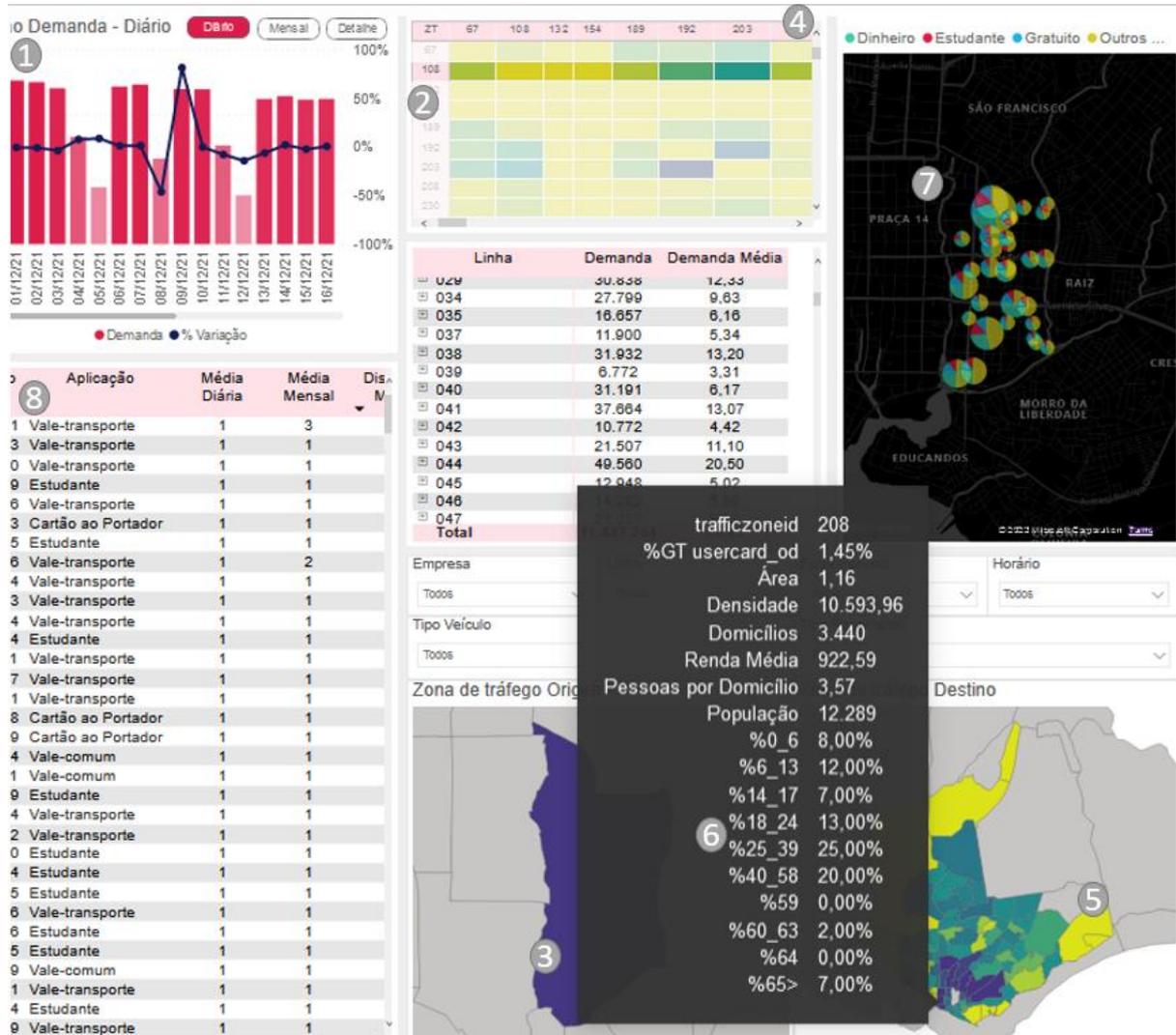


Fonte: elaborada pelo autor.

A *Figura 31* apresenta um exemplo da estrutura da demanda, com a variação da demanda por dia (1), destaque de uma zona de tráfego na origem representado na forma de tabela (2) e em mapa (3), com todos seus destinos discriminados em tabela (4) e representação espacial (5), agrupamento de informações (6), pontos de embarque (7), além dos passageiros que tiveram alguma origem nessa zona com seus respectivos padrões de uso (8).

¹⁰ <https://powerbi.microsoft.com/pt-br/>

Figura 31 – Exemplo de indicadores de demanda



Fonte: elaborada pelo autor.

Extrair as informações de padrões através do cruzamento de dados facilita a tomada de decisão por parte do especialista na utilização dos parâmetros de modelagem do TcsD. A partir da figura anterior é possível exemplificar o perfil de uso da demanda, seja com quantitativos dos pontos de embarque e desembarque mais utilizados, distância média percorrida ou a renda

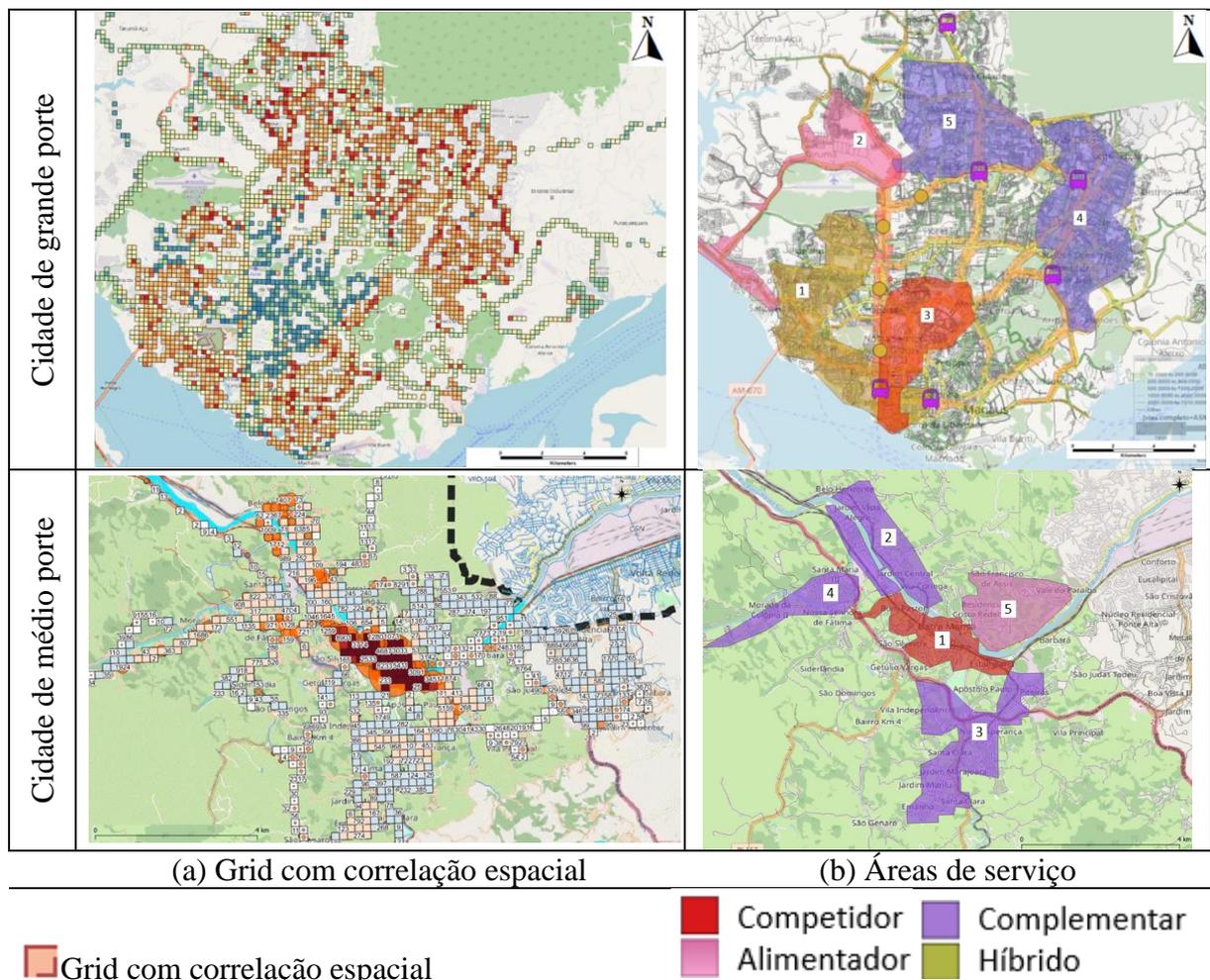
média destes deslocamentos, como exemplo dos parâmetros que irão compor o método de área de serviço.

4.2 Definição da área de serviço

A *Figura 32* mostra o Grid com a aplicação da correlação espacial a partir da utilização dos dados apresentados no subitem 4.1. A partir desta correlação, o especialista, tomador de decisão, estabelece as áreas de serviço para a utilização no teste de performance específico para o sistema sob demanda.

Uma área de serviço, a partir da correlação, aumenta o potencial de passageiros do TcsD quando um mesmo padrão de uso ocorre em uma área espacial, por exemplo, passageiros com baixas distâncias médias percorridas e mesmo padrão de renda.

Figura 32 – Definição das áreas de serviço



Fonte: elaborada pelo autor.

4.3 Desempenho do sistema

Para simular a operação de um sistema TcsD é necessário cumprir todos os requisitos para a modelagem em softwares específicos. Essas simulações dependem da demanda dos agentes e especificação do serviço que serão simulados em uma janela de tempo. O software VISUM foi utilizado trazendo os resultados do uso desse sistema.

A simulação parte da determinação da área de operação e da frota disponível, além dos parâmetros de atendimento e operacionais. A correlação espacial desempenha um papel importante para definição da área de serviço quando relaciona passageiros com padrões similares de deslocamento, o que sugere maior potencial de agrupamento. Para chegar a essas áreas de agrupamento é necessário ter dados estruturados com indicadores (Tabela 10) e parâmetros de referência para modelagem (Tabela 12). Só são consideradas áreas de serviço aquelas cujos parâmetros, que são extraídos através da ferramenta BI, sejam atendidos. A ferramenta BI permite a visualização dos dados tratados e relacionados com informações de origens distintas (Figura 31).

A Figura 33 mostra um exemplo da área de serviço modelada com os resultados de performance do software. Esses indicadores de performance dizem respeito ao total de passageiros embarcados, ocupação média e máxima durante as viagens, tempo ocioso, tempo médio e máximo total de viagem, tempo médio e máximo de espera, uso dos veículos e distância média e máxima percorridas.

Figura 33 – Exemplo de uma área de serviço e parâmetros de resultado



Limite da área de serviço rede ativa da área de serviço

Fonte: elaborada pelo autor.

A Tabela 14 apresenta a organização dos principais indicadores de performance para os municípios de porte distintos extraídos do VISUM. Em relação ao município de médio porte, foram consideradas as áreas de serviço de forma conjunta com a área 1 (*Figura 32*). Usualmente, a área central é o destino das viagens no pico manhã e origem no pico tarde. Para o município de maior porte não foi necessário aglutinar áreas de serviço, uma vez que a distância percorrida entre a origem e destino de cada passageiro estava contida na mesma área de correlação espacial.

Tabela 14 – Resultado dos indicadores de performance em cada área de serviço

Indicador	Cidade de médio porte				Cidade de grande porte				
	Área de serviço				Área de serviço				
	1-3	1-2	1-5	1	1	2	3	4	5
Ocupação máxima	7	6	7	7	9	9	7	7	9
Produtividade (pax/viagem)	2	2	2	2	3	2	3	2	2
Total de passageiros	234	188	164	172	592	173	469	306	364
Tempo médio de espera (min)	4'	3'	3'	3'	12'	8'	6'	13'	12'
Tempo médio de jornada	17'	14'	12'	12'	30'	30'	18'	31'	31'
Tempo máximo de jornada	40'	40'	35'	28'	61'	80'	42'	50'	51'
Uso total de veículos	10	10	10	10	20	5	15	10	10
Distância média (km)	4	3	3	2,5	7,56	10,7	4,56	7,8	8,3

Fonte: elaborada pelo autor.

Conforme apresentado na metodologia os parâmetros de referência (Tabela 12) são preponderantes para a simulação de serviços viáveis e na avaliação de qualidade e performance.

Os mesmos parâmetros de entrada foram considerados para identificar as diferentes áreas de serviço em ambas as cidades. A área de serviço 1 (Tabela 14) da cidade de médio porte possui os melhores indicadores de atendimento, com os menores tempo médio de jornada, tempo médio de espera e tempo máximo de jornada. Esse fato ocorre devido a ser utilizada a mesma frota em uma área de atendimento significativamente menor.

Por outro lado, para a cidade de grande porte, a área de serviço 1 funciona como uma área híbrida, onde, além de possuir maior potencial de passageiros, funciona como um sistema de alimentação para as estações além de abranger uma área com renda elevada e padrão de distância percorrida reduzido, o que sugere também competir com aplicativos de carona.

As análises anteriores sugerem que os parâmetros gerais de operação, quando simulados, ficam dentro das referências apresentadas. A produtividade e o número de

passageiros transportados em comparação com a frota empenhada são parâmetros que devem ser avaliados como critério de análise do maior potencial entre as áreas de serviço.

Todas as áreas são válidas, porém em situações de restrição financeira, o tomador de decisão, padronizando os resultados relativos a passageiros transportados e custo, pode escolher a área com maior potencial ou um conjunto de áreas que forem convenientes dentro da restrição imposta.

4.4 Discussão dos resultados

Conforme proposto, o método foi dividido em 3 grandes partes: (i) tratamento dos dados, (ii) avaliação de indicadores e tomada de decisão e (iii) modelagem dos parâmetros a partir da decisão para avaliação do TcsD. Dados como dias operacionais e horas de serviço não foram temas desse estudo uma vez que a modelagem considerou um período qualquer do tempo em que dados de demanda e modelagem podiam ser aplicados como a hora pico.

Das etapas do procedimento proposto, o tratamento dos dados é a etapa mais importante. Os dados obtidos de diferentes origens, por exemplo, empresas de tecnologia, prefeitura, censo e dados de planejamento. Compatibilizar esses dados heterogêneos em uma mesma unidade geográfica é o principal desafio para os analistas de TcsD.

A compatibilização dos dados conforme proposto gerou uma base estruturada que permitiu a criação do BI e, conseqüentemente, a interpretação das informações para tomada de decisão. O uso do BI permitiu extrair o perfil e padrão de uso dos passageiros do transporte convencional, agrupando-os para identificar áreas de serviço. Os resultados sugerem que, independentemente do porte da cidade, seguidas as diretrizes de análise e modelagem, seja possível propor um sistema DRT que, quando complementar a rede convencional, pode ser caracterizado como TcsD.

A segunda etapa mais importante é a identificação da área de serviço para viabilizar um sistema TcsD viável economicamente e operacionalmente. A área de serviço permite propor um sistema que seja produtivo e eficiente, seguidos os procedimentos do método com a menor frota possível. Os indicadores do transporte convencional relacionados com dados secundários são fundamentais para a correlação espacial da modelagem das áreas de serviço, uma vez que destacam regiões com potencial de maior número de passageiros ou onde linhas deficitárias atuam e podem ser substituídas no contexto do sistema convencional.

Nos casos em que as taxas de embarque são menores, o TcsD propicia um sistema com melhor nível de serviço, isto é, pode-se atender a demanda destas regiões com uma maior frequência de atendimento, por exemplo, no caso da cidade de maior porte, linhas com frequências de 30, 45 e 60 minutos podem ser substituídas para atendimento máximo de 25 minutos. Nesses casos, tem-se uma redução significativa de tempo médio de espera pelos usuários.

Caso seja estabelecida uma área de serviço que abranja toda a cidade, o aumento dessa área de atendimento implicará, necessariamente, no aumento de frota e, conseqüentemente, do custo. Por outro lado, isso não implica em melhoria do atendimento, dos parâmetros de performance e da demanda atendida.

A criação de áreas a partir de correlação espacial com determinados parâmetros permitem a identificação de padrões de deslocamento similares, como por exemplo, passageiros que possuem renda e distâncias de deslocamento similares. Segundo Jain *et al.* (2017), esses passageiros possuem maior potencial de uso de sistemas DRT, ao qual se inclui o TcsD. Ainda, como o tempo de espera e o tempo total de viagem são menores que os do sistema convencional, o TcsD pode também ser usados pelos demais passageiros do sistema convencional com melhora na qualidade dos serviços.

5 CONCLUSÃO

Esse trabalho propôs diretrizes e procedimentos para viabilizar a implantação de sistema responsivo à demanda complementar a rede convencional de transporte. A estrutura foi baseada no *Action Design Research* (ADR). O diagnóstico, primeira etapa metodológica do ADR, permitiu constatar que a estrutura do sistema de transporte é baseada exclusivamente na receita tarifária, que acarreta diversos desafios operacionais, institucionais e econômicos. No contexto brasileiro, onde essa prática é a vigente, grande parte da má avaliação do sistema advém desta estrutura histórica. Assim, é necessário refletir sobre a mudança da estrutura tarifária, que não é simples, e tampouco rápida. Desta forma, a adoção de sistemas que permitam otimizar a rede equalizando o custo operacional com as necessidades sociais é uma alternativa para a solução do equilíbrio econômico e operacional. Neste contexto, a busca por soluções tecnológicas para sistemas sob demanda, em que a oferta é aderente à demanda, constitui um caminho para recuperar os sistemas de transporte, através da melhora operacional, da demanda e da qualidade dos serviços ofertados. A evolução da análise de dados e das técnicas de modelagem desempenham um papel fundamental em trazer eficiência à tomada de decisões.

Nesse contexto, o modelo de transporte responsável adotado é o “Transporte compartilhado sob demanda” (TcsD) que opera de forma dinâmica, onde roteiriza a partir das solicitações dos passageiros; compartilhado, onde os passageiros são agrupados em uma mesma viagem para aumentar a produtividade e eficiência dos veículos em operação; complementar, onde o serviço sob demanda funciona como linhas de alimentação ao sistema estruturante, e substitutivo, onde o serviço sob demanda pode substituir um conjunto de veículos que atendem linhas de baixa demanda melhorando tempo de atendimento e reduzindo os custos. Este sistema deve ser construído a partir dos dados do sistema de transporte convencional.

Especificamente sobre a implantação, o TcsD auxiliou na identificação do conjunto de dados propostos para avaliação do sistema atual e simulação de um transporte sob demanda proposto. Neste sentido, essa pesquisa apresentou um conjunto de diretrizes e propôs procedimentos para viabilizar a modelagem de transporte responsável complementar à rede de transporte coletivo.

A partir dos dados das zonas de tráfego (ZT), do Grid e dos dados do transporte coletivo atual, foi necessário tratar e relacionar esses dados, sendo possível agrupar os perfis de demanda para identificar as áreas potenciais para implantação do TcsD. Nesse estudo, os perfis foram

definidos através do agrupamento por similaridade de distância percorrida, renda, população e taxa de embarque da área. A utilização de uma ferramenta BI possibilitou implementar os indicadores utilizados para construção das áreas de serviço do TcsD. Essas áreas foram consideradas para avaliação do desempenho do sistema. A avaliação do desempenho é uma simulação de uma operação sob demanda com base nos parâmetros apresentados, e dados reais. A adoção do TcsD é recomendada quando os resultados da avaliação, comparados com os serviços convencionais, se mostrarem mais efetivos.

A metodologia foi aplicada em duas cidades, uma considerada de grande porte e outra considerada de médio porte. O agrupamento da demanda para definição das áreas de serviço sugeriu um sistema eficiente, em ambas as cidades, uma vez que foi possível identificar perfis de comportamento similares específicos para o sistema. Como cada cidade possui uma oferta específica, o processo metodológico realiza uma avaliação do sistema convencional para encontrar as faixas de demanda e frequências que sejam convenientes a substituição, em parte ou totalmente, pelo TcsD.

As diretrizes de escolha de frota, parâmetros e área de serviço sugerem que o desempenho real, quando corretamente determinados, tende a melhorar a qualidade dos serviços ofertados e suprir as deficiências do transporte convencional. Assim, duas importantes constatações são relativas ao tempo de atendimento e oferta de um serviço alternativo. Foram encontradas áreas que possibilitaram uma redução de atendimento para no máximo 25 minutos, em áreas antes atendidas em até 60 minutos. Foram estabelecidas áreas de competição onde a distância percorrida e renda do passageiro sugerem a concorrência com os aplicativos de carona.

Para futuros trabalhos sugere-se a operacionalidade, in loco, do modelo proposto com aferição do desempenho conforme etapa 4 do ADR. Recomenda-se também, que seja analisada a gratuidade no contexto brasileiro na modelagem do TcsD, a fim de se determinar o ponto de equilíbrio entre atendimento atrativo e o custo que está diretamente relacionado com a frota e quilometragem produzida. Ainda, é necessário avaliar como esse tipo de passageiro afeta o número de viagens e os indicadores de desempenho.

Transporte sob demanda é o futuro do transporte público. No entanto, os resultados apresentados nesse trabalho sugerem que a identificação dos requisitos de implantação são cruciais para a adoção deste tipo de sistema.

REFERÊNCIAS

- ALONSO-GONZÁLEZ, M. J.; LIU, T.; CATS, O.; VAN OORT, N.; HOOGENDOORN, S. The Potential of Demand-Responsive Transport as a Complement to Public Transport: An Assessment Framework and an Empirical Evaluation. *Transportation Research Record*, 2672(8), 2018, p. 879–889. <https://doi.org/10.1177/0361198118790842>.
- AMBROSINO, G.; NELSON, J. D.; BOERO, M., PETTINELLI, I. . Enabling intermodal urban transport through complementary services: From Flexible Mobility Services to the Shared Use Mobility Agency: Workshop 4. Developing inter-modal transport systems. *Research in Transportation Economics*, 59, 2016, p. 179–184. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2016.07.015>
- ANDRIENKO, G.; ANDRIENKO, N.; CHEN, W.; MACIEJEWSKI, R., e ZHAO, Y. Visual analytics of mobility and transportation: State of the art and further research directions. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18(8), 2017, 2232–2249. doi:10.1109/TITS.2017.2683539
- ARBEX, R. O.; da CUNHA, C. B. Avaliação das mudanças nas velocidades das linhas de ônibus da cidade de São Paulo após a implantação de faixas exclusivas através da análise de dados de GPS. *Transportes*, 24(4), 2016. doi:10.14295/transportes.v24i4.1008
- ARBEX, R., e CUNHA, C. B. Estimating the influence of crowding and travel time variability on accessibility to jobs in a large public transport network using smart card big data. *Journal of Transport Geography*, 85, 2020. doi:10.1016/j.jtrangeo.2020.102671
- ARCHETTI, C., SPERANZA, M.G. and WEYLAND, D., A simulation study of an on-demand transportation system. *Intl. Trans. in Op. Res.*, 2018, 25: 1137-1161. <https://doi.org/10.1111/itor.12476>
- ASPIN, A. *Pro Power BI Desktop*. Pro Power BI Desktop (Second.). Apress, Staffordshire, 2018. doi:10.1007/978-1-4842-3210-1
- BALCOMBE, R.; MACKETT, R.; PAULLEY, N.; PRESTON, J.; SHIRES, J.; TITHERIDGE, H.; WARDMAN, M. The demand for public transport: A practical guide. *Transportation Research Laboratory*, 2004. <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1349>
- BALINT, A. O.; TOMA, M. How Does Business Intelligence Solutions can Streamline and Influence Transport Networks? *Procedia Economics and Finance*, 20, 2015, p. 59–64. doi:10.1016/S2212-5671(15)00047-7
- BARNS, S. (2018). Smart cities and urban data platforms: Designing interfaces for smart governance. *City, Culture and Society*, 12, 2018, 5–12. <https://doi.org/10.1016/j.ccs.2017.09.006>

BARRETO, L., AMARAL, A., BALTAZAR, S.. *Flexible on Demand Transport Services (TcsD): The future of mobility systems. Proceedings – 2019 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation, ICE/ITMC 2019.*

BATES, C.. *XML in theory and practice.* J. Wiley, Chichester, England Hoboken, NJ, 2003.

BELLINI C., DELLEPIANE G., QUAGLIERINI C. The demand responsive transport services: Italian approach. Sucharov LJ, Brebbia CA, eds. *Urban Transport IX: Urban Transport and the Environment in the 21st Century*, Vol. 14 (WIT Press, Southampton, UK), 2003, p. 63–71.

BIA, Z., e LIU, X. (2019). Mechanism design for first-mile ridesharing based on personalized requirements part I: Theoretical analysis in generalized scenarios. *Transportation Research Part B: Methodological*, 120, 147–171. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2018.12.009>

BRAGA, C. K. *big data de Transporte Público na Análise da Variabilidade de Indicadores da Acessibilidade às Oportunidades de Trabalho e Educação.* Fortaleza, 2019. doi:10.31237/osf.io/92yxw

BRASIL. Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/113709.htm. Acesso em: 20 out. 2021.

BROST, Mascha; KLÖTZKE M.; KOPP, G.; DEIBER, O.; FRAEDRICH, E. M.; KARNAHL, K.; SIPPEL, T.; MÜLLER, A.; BEYER, S. . Development, implementation (pilot) and evaluation of a demand-responsive transport system. *World Electric Vehicle Journal*, 9(1), 2018. <https://doi.org/10.3390/wevj9010004>

BYRD, R., Transit Cooperative Research Program, Crain e Associate. Using Public Transportation to Reduce the Economic, Social, and Human Costs of Personal Immobility. *Transportation Research Board*: v, p-p. 1999.

CALDERÓN, F.; MILLER, E. J.. A literature review of mobility services: definitions, modelling state-of-the-art, and key considerations for a conceptual modelling framework. *Transport Reviews*, 2019, p. 1–21. doi:10.1080/01441647.2019.1704916

CALIPER. *TransCAD Transportation Planning Software – Travel Demand Modeling with TransCAD 4.8 -User's Guide.* Caliper Corporation, Newton, 2007.

CARVALHO, C. H.; GOMIDE, A.; HENRIQUE, R.; PEREIRA, M.; FERREIRA MATION, L.; BALBIM, R.; CORREIA, V.; NETO, L.; PEREIRA GALINDO, E. *Tarifação e financiamento do transporte público urbano.* No 2. 2013. <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/1365>

CARVALHO, S. *Análise de políticas tarifárias do transporte público do município de Belo Horizonte sob a ótica da elasticidade demanda-tarifa.* Dissertação de Mestrado. Universidade

Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2012, p. 1 – 125. <http://hdl.handle.net/1843/BUOS-8STPZQ>

CHILIPIREA, C.; PETRE, A. C.; GROZA, L. M.; DOBRE, C., POP, F. An integrated architecture for future studies in data processing for smart cities. *Microprocessors and Microsystems*, 52, 2017, 335–342. doi:10.1016/j.micpro.2017.03.004

CHOWDHURY, M., APON, A., e DEY, K. (Eds.). (2017). *Data analytics for intelligent transportation systems*. Elsevier, 2017.

CICH, G.; KNAPEN, L.; MACIEJEWSKI, M.; YASAR, A. U. H.; BELLEMANS, T. JANSSENS, D. Modeling demand responsive transport using SARL and MATSim. *Procedia Computer Science*, 109, 2017, p. 1074–1079. doi:10.1016/j.procs.2017.05.387

CLEWLOW, R.; MISHRA, G. S. *The Adoption, Utilization, and Impacts of Ride-Hailing in the United States*. 2017. <https://escholarship.org/uc/item/82w2z91j>

UNITED STATES. Urban Transportation Administration. (1968) *Tomorrow's Transportation - New System for the Urban Future*. (L. Cole, Ed) (62nd ed.). U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 2017.

CORDEAU, J. F.; LAPORTE, G.; POTVIN, J. Y.; SAVELSBERGH, M. W. P. . Transportation on Demand. *Handbooks in Operations Research and Management Science*. Cidade: Editora. v 14(C), 2007, p. 1429–466. [https://doi.org/10.1016/S0927-0507\(06\)14007-4](https://doi.org/10.1016/S0927-0507(06)14007-4)

COSTA, P. C., CUNHA, C. B., & ARBEX, R. O. A simulation-optimization model for analyzing a demand responsive transit system for last-mile transportation: A case study in São Paulo, Brazil. *Case Studies on Transport Policy*, 9(4), 1707–1714. 2021, <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2021.06.019>

COUTINHO, F. M.; VAN OORT, N.; CHRISTOFOROU, Z.; ALONSO-GONZÁLEZ, M. J., CATS, O.; HOOGENDOORN, S. Impacts of replacing a fixed public transport line by a demand responsive transport system: Case study of a rural area in Amsterdam. *Research in Transportation Economics*, 83, 2020, p. 1–11. doi:10.1016/j.retrec.2020.100910

CZIOSKA, P.; KUTADINATA, R.; TRIFUNOVIĆ, A.; WINTER, S.; SESTER, M.; FRIEDRICH, B. Real-world meeting points for shared demand-responsive transportation systems. *Public Transport*, 11(2), 2019, p. 341–377. doi:10.1007/s12469-019-00207-y

DAGANZO, C. F.; OUYANG, Y. . A general model of demand-responsive transportation services: From taxi to ridesharing to dial-a-ride. *Transportation Research Part B: Methodological*, 126, 2019, p. 213–224. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2019.06.001>

DAVISON, L.; ENOCH, M.; RYLEY, T.; QUDDUS, M.; WANG, C.. Identifying potential market niches for Demand Responsive Transport. *Research in Transportation Business and Management*, 3, 2012, p. 50–61. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2012.04.007>

DESSOUKY, M.; PALMER, K.; ABDELMAGUID, T. . Benchmarking Best Practices of Demand Responsive Transit Systems. 2003, p. 1-65.
<https://escholarship.org/uc/item/3c77b9wd>

DJAVADIAN, S.; CHOW, J. Y. J. Agent-based day-to-day adjustment process to evaluatedynamicflexible transport service policies. *Transportmetrica B*,5(3), 2017a, p. 286–311.doi:10.1080/21680566.2016.1190674

DORNELES, M.; RODRIGUES, R.; LUIS, J.; RIBEIRO, D.; MARGARITA, A.;

URIARTE, L. *Estudo dos fatores que afetam a adoção de sistemas sob demanda de transporte*. In: XXXIII Congresso Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes, Balneário Camboriú, 2019.

EMELE, C. D.; WRIGHT, S.; MOUNCE, R.; ZENG, C.; NELSON, J. D. *A visualisation tool for planning passenger transport services in rural and low-demand settings*. In: *Transport and Sustainability* (Vol. 8), 2016, p. 103-125. <https://doi.org/10.1108/S2044-994120160000008006>

ENOCH, Marcus; POTTER, Stephen; PARKHURST, Graham; SMITH, Mark . *Why do demand responsivetransport systems fail?* In: *Transportation Research Board 85th Annual Meeting*, 22-26 Jan 2006, Washington DC, 2006, p. 1-17.
<https://pubsindex.trb.org/view.aspx?id=775740>

ESRI. *Esri Shapefile technical description*. 1998.Disponível em:
<http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>

F. Álvarez *et al.*, *Future Internet Assembly. Towards a Narrative-Aware Design Framework for Smart Urban Environments*, LNCS 7281, 2012, p. 166–177. DOI: 10.1007/978-3-642-30241-1

Felipe PEZOA, Juan L. REUTTER, Fernando SUAREZ, Martín UGARTE, and Domagoj VRGOČ . *Foundations of JSON Schema*. In *Proceedings of the 25th International Conference on World Wide Web (WWW '16). International World Wide Web Conferences Steering Committee, Republic and Canton of Geneva, CHE*, 2016, p. 263–273.
 DOI:<https://doi.org/10.1145/2872427.2883029>

FIDALGO, R. N.; TIMES, V. C.; SILVA, J.; SOUZA, F. F. *GeoDWFrame: A Framework for Guiding the Design of Geographical Dimensional Schemas*. *Lecture Notes in Computer Science*, 2004, p. 26–37. Doi:10.1007/978-3-540-30076-2_3

FLORIDI, L.. *big data* and their epistemological challenge. *Philosophy and Technology*, 2012. doi:10.1007/s13347-012-0093-4

FRANCO, P.; JOHNSTON, R.; MCCORMICK, E. Demand responsive transport: Generation of activity patterns from mobile phone network data to support the operation of new mobility services. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 131, 2020, p. 244–266.
 doi:10.1016/j.tra.2019.09.038

- GARCÍA, J. R. R.; LENZ, G.; HAVEMAN, S. P.; BONNEMA, G. M. State of the art of mobility as a service (MaaS) ecosystems and architectures-an overview of, and a definition, ecosystem and system architecture for electric mobility as a service (eMaaS). *World Electric Vehicle Journal*, 11(1), 2020. <https://doi.org/10.3390/WEVJ11010007>
- GIESECKE, R., SURAKKA, T., e HAKONEN, M. Conceptualising Mobility as a Service: A user centric view on key issues of mobility services. Eleventh international conference on ecological vehicles and renewable energies (EVER), 2016.
- GOREV, A.; POPOVA, O.; SOLODKIJ, A. Demand-responsive transit systems in areas with low transport demand of “smart city.” *Transportation Research Procedia*, Vol. 50, 2020, p. 160–166). Elsevier B.V. doi:10.1016/j.trpro.2020.10.020
- GRASER, A.; WIDHALM, P.; DRAGASCHNIG, M. *Extracting Patterns from Large Movement Datasets*. GI_Forum, 1, 2020, p. 153–163. doi:10.1553/giscience2020_01_s153
- GRASER, A.; ZIMÁNYI, E.; BOMMAKANTI, K. C. *From Simple Features to Moving Features and Beyond.*, (1), 2020, p. 1–6. Obtido de <http://arxiv.org/abs/2006.16900>
- GUERRA, A. L.; BARBOSA, H. M.; OLIVEIRA, L. K. de. Estimativa de matriz origem/destino utilizando dados do sistema de bilhetagem eletrônica: proposta metodológica. *Transportes*, 22(3), 2014. doi:10.14295/transportes.v22i3.789
- HÄME, L.; HAKULA, H. A maximum cluster algorithm for checking the feasibility of dial-a-ride instances. *Transportation Science*, 49(2), 2015, p. 295–310. <https://doi.org/10.1287/trsc.2013.0495>
- HENRIQUE, C.; CARVALHO, R.; HENRIQUE, R.; PEREIRA, M. The effects of income and fare variation on the demand for bus transit services in Brazil. *Discussion paper 187*, 2011. IPEA: Brasilia. Available at <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/5180>
- HENSHER, D. A.; MULLEY, C. Special issue on developments in Mobility as a Service (MaaS) and intelligent mobility. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 131, 2020, p. 1–4. doi:10.1016/j.tra.2019.09.039
- HIGGINS, Nathan, BASILE, Ronald, VAN HECKE, Samuel, ZISSMAN, Jopseh, and GILKESON, Scott. Data 374 Visualization Methods for Transportation Agencies. Washington, DC: *The National Academies Press*, 2017. doi:<https://doi.org/10.17226/24755>.
- HIGGINS, T. Demand responsive transportation - an interpretive review. *Elsevier Scientific Publishing Company*, 1979. <https://doi.org/10.1007/bf00148378>
- Ho, C. Q.; Hensher, D. A.; Mulley, C.; Wong, Y. Z. Potential uptake and willingness-to-pay for Mobility as a Service (MaaS): A stated choice study. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 117, 2018, p. 302–318. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.08.025>

HOLMGREN, J. A strategy for increased public transport usage – The effects of implementing a welfare maximizing policy. *Research in Transportation Economics*, 48, 2014, p. 221–226. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2014.09.046>

HUANG, D.; GU, Y.; WANG, S.; LIU, Z.; ZHANG, W. A two-phase optimization model for the demand-responsive customized bus network design. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 111, 2020, p. 1–21. doi:10.1016/j.trc.2019.12.004

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Panorâma*. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil> acessado em nov/2021

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Metodologia do censo demográfico 2010*. (2nd ed., Vol. 41). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE, Rio de Janeiro, 2016.

ISO. *19125:2004 Geographic information — Simplefeature access*. Standard, International Organization for Standardization, Geneva, CH, 2004.

ISO. *19141:2008 Geographic information — Schema formoving features*. Standard, International Organization for Standardization, Geneva, CH, 2008.

ITOH, M.; YOKOYAMA, D.; TOYODA, M.; TOMITA, Y.; KAWAMURA, S.; KITSUREGAWA, M. *Visual fusion of mega-city big data: An application to traffic and tweets data analysis of Metro passengers*. (2014th ed.). IEEE, Washington, DC, 2014. doi:10.1109/BigData.2014.7004260

JAIN, S., RONALD, N., THOMPSON, R., & WINTER, S. *Predicting susceptibility to use demand responsive transport using demographic and trip characteristics of the population*. *Travel Behaviour and Society*, 6, 44–56. 2017. doi:10.1016/j.tbs.2016.06.001

JIANG, M.; SHAO, M.; SUN, L. *Policy, Environment, and Energy*. CICTP 2017, 2018. doi:10.1061/9780784480915.400

JITTRAPIROM, P.; CAIATI, V.; FENERI, A.-M.; EBRAHIMIGHAREHBAGHI, S.; GONZÁLEZ, M. J. A.; NARAYAN, J. Mobility as a Service: A critical review of definitions, assessments of schemes, and key challenges. *Urban Planning*, 2(2), 2017. 13. doi:10.17645/up.v2i2.931

KAISLER, S.; ARMOUR, F.; ESPINOSA, J. A.; MONEY, W. Big data: Issues and challenges moving forward. *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 2013, p. 995–1004. doi:10.1109/HICSS.2013.645

KALE, S.;das GUPTA, P. *Planning for Demand Responsive Bus Service for Limited Area using Simulation*. 2020.

KAMARGIANNI, M.; Li, W.; MATYAS, M.; SCHÄFER, A. A Critical Review of New Mobility Services for Urban Transport. *Transportation Research Procedia*, 14, 2016, p. 3294–3303. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.277>

KAMAU, J.; AHMED, A.; REBEIRO-H, A.; KITAOKA, H.; OKAJIMA, H.; RIPON, Z. H. Demand Responsive Mobility as a Service. *2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, 2016, p. 001741–001746. IEEE.
doi:10.1109/SMC.2016.7844489

KASHANI, Z. N.; RONALD, N.; WINTER, S.. Comparing demand responsive and conventional public transport in a low demand context. *2016 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communication Workshops, PerCom Workshops*, 2016.
<https://doi.org/10.1109/PERCOMW.2016.7457089>

KIM, T. J.; HAM, H.; BOYCE, D. E. Economic impacts of transportation network changes: Implementation of a combined transportation network and input-output model. In *Papers Reg. Sci* (Vol. 81), 2002, p. 223-246.

KIRBY, R. F.. *Paratransit: A State-of-the-Art Overview*. 1976, p. 37-44.
Lacy, P., e Rutqvist, J. *The Product as a Service Business Model: Performance over Ownership*. 2015, p. 99-114 https://doi.org/10.1057/9781137530707_8

LI, X.; QUADRIFOGLIO, L. Feeder transit services: Choosing between fixed and demand responsive policy. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 18(5), 2010, p. 770–780. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2009.05.015>

LIN, Y., WANG, P., e MA, M. Intelligent Transportation System (ITS) - Concept, Challenge and Opportunity. *IEEE*, 3, 2017, p. 167–172. doi:10.1109/BigDataSecurity.2017.50

LIU, S.; DUFFY, A. H. B.; WHITFIELD, R. I.; BOYLE, I. M. Integration of decision support systems to improve decision support performance. *Knowledge and Information Systems*, 22(3), 2009, p. 261–286. doi:10.1007/s10115-009-0192-4

LU, W.; QUADRIFOGLIO, L.; PETRELLI, M. Reliability analysis of centralized versus decentralized zoning strategies for paratransit services. *Transportation Research Procedia*, 25, 2017, p. 4096–4109. doi:10.1016/j.trpro.2017.05.340

LU, X.; YU, J.; YANG, X.; PAN, S.; ZOU, N. Flexible feeder transit route design to enhance service accessibility in urban area. *Journal of Advanced Transportation*, 50(4), 2016, p.507–521. <https://doi.org/10.1002/atr.1357>

LYONS, G. . Transport and society. *Transport Reviews*, 24(4), 2004, p. 485–509.
<https://doi.org/10.1080/0144164042000206079>

MARTÍNEZ, L. M.; VIEGAS, J. M.; EIRÓ, T. Formulating a new express minibus service design problem as a clustering problem. *Transportation Science*, 49(1), 2015, p. 85–98.
doi:10.1287/trsc.2013.0497

MARTINEZ, L.M.; VIEGAS, JOSE e SILVA, Elisabete.. A traffic analysis zone definition: A new methodology and algorithm. *Transportation*. 36., 2009, p. 581-599. 10.1007/s11116-009-9214-z.

MAYAUD, J.; WARD, F.; ANDREWS, J. Microtransit Has the Potential to Flip Transit on Its Head. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2021. doi:10.1177/03611981211014523

MITCHELL, W. J. Mobility on demand: Future of transportation in cities. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 2008. Disponível em: https://smartcities.media.mit.edu/pdf/Mobility_on_Demand_Introduction.pdf

MOODY, D. L., e KORTINK, M. A. R. (2003). From ER models to dimensional models: bridging the gap between OLTP and OLAP design, Part I. *Business Intelligence Journal*, 8, 2003, p. 7-24.

MUELLER, A.; BEYER, S.; KOPP, G., e DEISSER, O. *User-Centered Development of a Public Transportation Vehicle Operated in a Demand-Responsive Environment*. In: Advances in Intelligent Systems and Computing, 2020 (Vol. 964). https://doi.org/10.1007/978-3-030-20503-4_49.

NEILSON, A.; INDRATMO, DANIEL, B.; TJANDRA, S. Systematic Review of the Literature on *big data* in the Transportation Domain: Concepts and Applications. *big data Research*, 2019. Elsevier Inc. doi:10.1016/j.bdr.2019.03.001

NIKITAS, A.; KOUGIAS, I.; ALYAVINA, E.; NJOYA TCHOUAMOU, E. How Can Autonomous and Connected Vehicles, Electromobility, BRT, Hyperloop, Shared Use Mobility and Mobility-As-A-Service Shape Transport Futures for the Context of Smart Cities? *Urban Science*, 1(4), 36, 2017. <https://doi.org/10.3390/urbansci1040036>

NOURBAKHS, S. M.; OUYANG, Y. A structured flexible transit system for low demand areas. *Transportation Research Part B: Methodological*, 46(1), 2012, p. 204–216. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2011.07.014>.

NTU. *NTU Anuário 2017-2018*. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos: Brasília, 2018.

NTU. *NTU Anuário 2018-2019*. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos: Brasília, 2019.

NTU. *NTU COVID-19 e o Transporte Público por ônibus: impactos no setor e ações realizadas*. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos: Brasília, 2020.

NTU. *NTU Anuário 2020-2021*. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos: Brasília. 2021, ISSN: 2317-8868.

OKUNIEFF, P. O.; AHERN, B.; DEARASAUGH, D. W.; EVANS, W.; EWEN, H.; HILLER, W.; KRONENBERGER, B.; MORONEY, M.; OLSON, D.; STYMES, D. TCRP Synthesis 24 – AVL Systems for Bus Transit: *A Synthesis of Transit Practice*. Washington, D.C, 1997.

ORTÚZAR, J.; WILLUMSEN, L. G. *Modelling transport*. 2011.

OXLEY, P. *Dial/a/ride: A review*. In: *Transportation Planning and Technology*, Vol. 6, Issue 3, 1980, p. 141–148. <https://doi.org/10.1080/03081068008717184>

PALANKAR, M. R.; IAMNITCHI, A.; RIPEANU, M.; GARFINKEL, S. Amazon S3 for science grids. *Proceedings of the 2008 International Workshop on Data-Aware Distributed Computing – DADC*, 2008. . doi:10.1145/1383519.1383526

PAPANIKOLAOU, A., e BASBAS, S. *Analytical models for comparing Demand Responsive Transport with bus services in low demand interurban areas*. *Transportation Letters*, 2020. <https://doi.org/10.1080/19427867.2020.1716474>

PARRAGH, S. N.; de SOUSA, J. P.; ALMADA-LOBO, B. The dial-a-ride problem with split requests and profits. *Transportation Science*, 49(2), 2015, p. 311–334. <https://doi.org/10.1287/trsc.2014.0520>

PEFFERS, K.; TUUNANEN, T.; ROTHENBERGER, M. A.; CHATTERJEE, S. A design science research methodology for information systems research. *Journal of Management Information Systems*, 24(3), 2007, p. 45–77. <https://doi.org/10.2753/MIS0742-122240302>

PELLETIER, M. P.; TRÉPANIÉ, M.; MORENCY, C. Smart card data use in public transit: A literature review. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Elsevier Ltd, v. 19, n. 4, 2011, p. 557–568. ISSN 0968090X. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trc.2010.12.003>

PEREIRA, R. H. M.; KAUÊ, C.; BRAGA, V.; SERRA, B.; NADALIN, V. G. *Texto para discussão - desigualdades socioespaciais de acesso a oportunidades nas cidades brasileiras*, 2019. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/publicacoes>

PERERA, T.; PRAKASH, A.; GAMAGE, C. N.; SRIKANTHAN, T. *Hybrid genetic algorithm for an on-demand first mile transit system using electric vehicles*. In: *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*: Vol. 10860 LNCS, 2018. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93698-7_8

PETTERSSON, F. *An international review of experiences from on-demand public transport services*. In: *The Swedish knowledge Centre for public transport*. 2019, p. 1-38 ISBN: 978-91-985495-1-5.

PONS, Ivo.; MONTEIRO, Julian.; SPEICYS, Robert. *big data para análise de métricas de qualidade de transporte: metodologia e aplicação*. (Vol. 20). ANTP, 2015, São Paulo.

PROOST, S.; DENDER, K. van.. Optimal urban transport pricing in the presence of congestion, economies of density and costly public funds. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42(9), 2008, p. 1220–1230. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2008.03.009>

PTV GROUP. (2019). Demand for ridesharing. Retrieved from https://cgi.ptvgroup.com/vision-help/VISUM_2020_ENG/Content/1_Benutzermodell_OeV/1_6_Nachfrage_Ride_Sharing.htm

PTV Group. Modeling Ride-Sharing Systems. PTV VISUM Example Description. PTV AG Pucher, J.; Markstedt, A.; Hirschman, I. . Impacts of subsidies on the costs of urban public transport. In Source: *Journal of Transport Economics and Policy*. 17(2). 1983, p. 155-176. Disponível em: <http://www.jstor.org>URL:<http://www.jstor.org/stable/20052679><http://www.jstor.org/page/info/about/policies/terms.jsp>

RABAY, L.; MAGALHÃES, I.C.O.; ANDRADE, M.O.; BRASILEIRO, A. *Prospecção de fatores influenciadores da demanda por transporte público para aplicação ao mercado brasileiro*. ANPET, Recife, 2017. Disponível em: http://146.164.5.73:30080/tempsite/anais/documentos/2017/Aspectos%20Economicos%20Sociais%20Politicos%20e%20Ambientais%20do%20Transporte/Regulacao%20em%20Transportes%20I/3_258_AC.pdf

RIBEIRO de CARVALHO C. H.; GOMIDE, A.; HENRIQUE, R.; PEREIRA, M.; FERREIRA MATION, L.; BALBIM, R.; CORREIA, V.; NETO, L.; PEREIRA GALINDO, E. *Tarifação e financiamento do transporte público urbano No 2*, 2013. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/1365>

RIBEIRO, A. C.; CARVALHO, M. S.; TELHADA, J. *An integrated decision support system to assess the sustainability of demand responsive transport systems*. In: *Operations Research and Big Data: IO2015-XVII Congress of Portuguese Association of Operational Research (APDIO)*, Vol. 15, 2015. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24154--8_22

ROBINSON, D. *Amazon Web Services Made Simple: Learn how Amazon EC2, S3, SimpleDB and SQS Web Services enables you to reach business goals faster*. London. 2008, p. 1-185

RONALD, N., THOMPSON, R., HAASZ, J., & WINTER, S. Determining the Viability of a Demand-Responsive Transport System under Varying Demand Scenarios. *Proceedings of the Sixth ACM SIGSPATIAL International Workshop on Computational Transportation Science - IWCTS '13*. 2013,doi:10.1145/2533828.2533831

RONALD, N.; THOMPSON, R. G.; WINTER, S. Comparison of constrained and Ad Hoc demand-responsive transportation systems. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2536, 2015, p. 44–51. doi:10.3141/2536-06

RONALD, N.; THOMPSON, R.; WINTER, S. Simulating Demand-responsive Transportation: A Review of Agent-based Approaches, *Transport Reviews*, 2015, 35:4, 404-421, DOI: [10.1080/01441647.2015.1017749](https://doi.org/10.1080/01441647.2015.1017749)

S. M. H. MAHMUD; M. A. HOSSIN; H. JAHAN; S. R. H, NOORI; T. BHUIYAN, "CSV-ANNOTATE: Generate annotated tables from CSV file," 2018 International Conference on Artificial Intelligence and *big data* (ICAIBD), 2018, pp. 71-75, doi: 10.1109/ICAIBD.2018.8396169.

SHAHEEN, S., COHEN, A., CHAN, N.; BANSAL, A. *Sharing strategies: Carsharing, shared micromobility (bikesharing and scooter sharing), transportation network companies, microtransit, and other innovative mobility modes*. In: *Transportation, Land Use, and Environmental Planning*, 2019, p. 237–262. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815167-9.00013-X>

SHAHEEN, S.; COHEN, A.; YELCHURU, B.; SARKHILI, S. *Mobility on Demand Operational Concept Report Final Report: FHWA-JPO-18-611*. Richmond, 2017. Disponível em: www.its.dot.gov/index.htm

SIERPINSKI, G. Model of Incentives for Changes of the Modal Split of Traffic Towards Electric Personal Cars. In *CCIS*, Vol. 471, 2014. https://doi.org/10.1007/978-3-662-45317-9_48.

SILVA, L. A. S.; ANDRADE, M. O.; MAIA, M. L. A. How does the ride-hailing systems demand affect individual transport regulation? *RESEARCH IN TRANSPORTATION ECONOMICS*, 69, 2018, p. 600–606. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2018.06.010>

SOUSA, S. D.; ASPINWALL, E.; SAMPAIO, P. A.; RODRIGUES, A. G. Performance measures and quality tools in Portuguese small and medium enterprises: survey results. *Total Quality Management and Business Excellence*, 16(2), 2005, p. 277-307.

SYSTEMATICS, C.; BRUSLIN, V.; Gallop Corporation, Bhat, C., Shapiro Transportation, e Bryson, M. *NCHRP Report 716: Travel Demand Forecasting: Parameters and Techniques*. Washington, DC, 2012. Obtido de www.TRB.org

TAAFFE, E.J.; H.L. GAUTHIER; M.E. *O'Kelly Geography of Transportation*, Second Edition, Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1996.

TELHADA, J.; DIAS, A. C.; SAMPAIO, P.; PEREIRA, G.; CARVALHO, M. S. An Integrated Simulation and Business Intelligence Framework for Designing and Planning Demand Responsive Transport Systems. D. Pacino, S. Voß, e R. M. Jensen (Eds), *Computational Logistics. ICCL 2013. Lecture Notes in Computer Science*, 2013, Vol. 8197, p. 98–112. Springer, Berlin. doi:10.1007/978-3-642-41019-2_8

TIRACHINI, A. Ride-hailing, travel behaviour and sustainable mobility: an international review. *Transportation*, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11116-019-10070-2>

TOWNES, M. S.; BARNES, L. E. E.; BLAIR, G. L.; HUNTER-ZAWORSKI, K.; MONROE, D. O. N. S. *Avl Systems for Bus Transit: A Synthesis of Transit Practice*. [S.l.]: TransitCooperative Research Program, 1997. ISBN 0309060192.

TRÉPANIÉ, Martin; MORENCY, Catherine; AGARD, Bruno. Calculation of Transit Performance Measures Using Smartcard Data. *Journal of Public Transportation*, 12 (1): 2009, p. 79-96. DOI: <http://doi.org/10.5038/2375-0901.12.1.5>

URRECHO, J. M. D.; FERNÁNDEZ, L. C. M. *Transport on demand as an alternative mobility system in rural areas with low population density: The case of Castilla and Leon* | El transporte a la demanda como sistema de movilidad alternativo en áreas rurales de baja densidad demográfica: El caso de ca. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 72, 2016, p. 195–220. <https://doi.org/10.21138/bage.2337>

VASCONCELLOS, E.A.; MENDONÇA, A. Política Nacional de Transporte Público no Brasil: organização e implantação de corredores de ônibus. *Revista dos Transportes Públicos*. 33(3), 2010, p. 73-95.

VASSILIADIS, P.; SIMITSIS, A.; SKIADOPOULOS, S. *Conceptual Modeling for ETL Processes*. New York, 2002. doi:<https://doi.org/10.1145/583890.583893>

VIEGAS, J., MARTINEZ, L., SILVA, E. Modifiable areal unit problem effects on traffic analysis zones delineation. *Environ. Plan. B*, 2008. doi:10.1068/b34033

VISUM. User Manual. PTV Visum AG, 2021.

WALKER, J. *In a Pandemic, We're All 'Transit Dependent'*. Perspective, 2020. Available at <https://www.citylab.com/perspective/2020/04/coronavirus-public-transit-subway-bus-ridership-revenue/609556/>

WECKSTRÖM, C.; MLADENović, M. N.; ULLAH, W.; NELSON, J. D.; GIVONI, M.; BUSSMAN, S. User perspectives on emerging mobility services: Ex post analysis of Kutsuplus pilot. *Research in Transportation Business and Management*, 27, 2018, p. 84–97. doi:10.1016/j.rtbm.2018.06.003

WESTERLUND, Y. (2016). *Development and status for large-scale demand responsive transport*. In: *Transport and Sustainability*, vol. 8, 2016. <https://doi.org/10.1108/S2044-994120160000008004>

WONG, Y. Z.; HENSHER, D. A.; MULLEY, C. Mobility as a service (MaaS): Charting a future context. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 131, 2020, p. 5–19. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.09.030>

APÊNDICE I – TABELA EXEMPLO DA ESTRUTURA DE DADOS

Formato	Exemplo
CSV / TXT	<pre> cadastro.tipo,mes,dia,data,ordem_chapada,prefixo,linha,lat,lon 17,Funcionário,6,23,2020-06-23 06:48:06.000,1,2072,"0092",-7.2512993,-35.9275131 17,Funcionário,6,23,2020-06-23 07:45:48.000,2,2020,"0922",-7.2506699,-35.9258117 24,Funcionário,6,5,2020-06-05 06:34:20.000,1,2034,"0922",-7.2708644,-35.9364585 24,Funcionário,6,5,2020-06-05 14:17:58.000,2,3011,"0909",-7.2207975,-35.8890457 24,Funcionário,6,5,2020-06-05 18:35:06.000,3,2032,"0092",-7.2205476,-35.8896408 24,Funcionário,6,6,2020-06-06 08:02:04.000,1,2072,"0922",-7.2347893,-35.8955764 24,Funcionário,6,8,2020-06-08 06:54:34.000,1,2066,"0092",-7.2715668,-35.9360733 24,Funcionário,6,8,2020-06-08 13:43:10.000,2,3049,"0909",-7.2207670,-35.8890724 24,Funcionário,6,8,2020-06-08 14:35:50.000,3,1085,"0674",-7.2181006,-35.8811402 </pre>
XML	<pre> <?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"? ><transdata><info><webgerencial>22.11.2.0</webgerencial><periodo>01/04/2018 a 30/04/2018</periodo><usuario>2</usuario><nome>Administrador do Sistema</nome><emissao>25/06/2018 08:11:14</emissao></info><turno><id>20180401- 38A1F66A</id><tipo>Urbano</tipo><empresaveiculo> </empresaveiculo><codigoempresa>3</codigoempresa><prefixo>29081</prefixo><viagem><turn oid>888836</turnoid><viagemid>1</viagemid><linha>051 </linha><empresamoto>3</empresamoto><empresamotonome> </empresamotonome><matriculamoto>200604</matriculamoto><empresacobr>3</empresacobr><em presacobrnome> </pre>
JSON	<pre> JSON Raw Data Headers Save Copy Formatar {"COLUMNS":["DATAHORA","ORDEM","LINHA","LATITUDE","LONGITUDE","VELOCIDADE"],"DATA":["05-28-2021 01:24:24","D13272",803.0,-22.8765,-43.41936,0.0] 22.83842,-43.28633,3.0],["05-28-2021 02:31:02","D86190",864.0,-22.89461,-43.53357,0.0],["05-28-2021 03:38:01","D13170",752.0,-22.85899,-43.46181, 03:49:01","A71501",217.0,-22.92973,-43.25417,1.0],["05-28-2021 03:54:31","B63036",335.0,-22.79329,-43.29498,0.0],["05-28-2021 03:56:37","D86188", ["05-28-2021 04:17:03","B28589",329.0,-22.81517,-43.18827,0.0],["05-28-2021 04:22:28","D13242",756.0,-22.84575,-43.37879,63.0],["05-28-2021 04:25 43.40593,0.0],["05-28-2021 04:31:40","A29022",476.0,-22.89573,-43.56081,0.0],["05-28-2021 04:31:48","B71135",455.0,-22.92978,-43.25468,0.0],["05- 22.89561,-43.55982,0.0],["05-28-2021 04:43:32","D12156",2802.0,-22.90967,-43.69541,17.0],["05-28-2021 04:51:44","A71615",100.0,-22.92999,-43.2539, 05:08:26","A50189",448.0,-22.92893,-43.25383,0.0],["05-28-2021 05:32:58","A72002",410.0,-22.92504,-43.22598,1.0],["05-28-2021 05:36:01","B32717", ["05-28-2021 05:44:05","A29085",461.0,-22.86774,-43.2908,0.0],["05-28-2021 05:45:51","D87860",2336.0,-22.91788,-43.6081,0.0],["05-28-2021 05:50:2 ["05-28-2021 05:56:24","C30366",343.0,-22.89032,-43.22326,11.0],["05-28-2021 05:59:49","D17009",868.0,-22.91816,-43.60795,0.0],["05-28-2021 06:04 43.25472,0.0],["05-28-2021 06:20:17","D86197",864.0,-22.89458,-43.53356,0.0],["05-28-2021 06:30:06","A29013",102.0,-23.00206,-43.36683,0.0],["05- 22.89309,-43.532,0.0],["05-28-2021 07:05:02","B58172",628.0,-22.83641,-43.28551,6.0],["05-28-2021 07:07:37","D13214",790.0,-22.86032,-43.50643,41 22.94998,-43.34824,0.0],["05-28-2021 07:22:00","B25602",232.0,-22.90218,-43.29947,0.0],["05-28-2021 07:23:37","D86134",838.0,-22.89327,-43.53186, 07:24:53","D17161",770.0,-22.91633,-43.60761,19.0],["05-28-2021 07:24:58","B58125",628.0,-22.83689,-43.28549,4.0],["05-28-2021 07:27:23","A41047", ["05-28-2021 07:30:40","F13042",721.0,-22.87115,-43.40400,0.0],["05-28-2021 07:35:24","A30001",474.0,-22.80307,-43.28300,0.0],["05-28-2021 07:38 </pre>

Fonte: o autor.

APÊNDICE II – TABELAS DE ATRIBUTOS

Tabela 15 – GTFS – viagens

[Planejado] Trips	Descrição Campo
direction_id	Sentido de viagem
route_id	Identificador único de rota
service_id	identificador único de tipo de viagem
shape_id	Identificador da feição geográfica
trip_headsign	nome do letreiro do veículo
trip_id	identificador único de viagem

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 16 – GTFS – rotas

[Planejado] routes	Descrição Campo
agency_id	identificador do operador / regulador
route_color	identificador de cor da rota
route_id	identificador único de rota
route_long_name	nome completo da linha
route_short_name	nome reduzido da linha
route_type	identificador tipo de rota
max shape_dist_traveled	of Extensão da linha

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 17 – GTFS – paradas (PUDO físico)

[Planejado] Stops	Descrição Campo
location_type	Tipo de elemento
stop_code	número do ponto (da cidade)
Stop_ID	identificador único do ponto
stop_lat	posição latitude do ponto
stop_lon	posição longitude do ponto
stop_name	nome do ponto
stop_timezone	timezone onde está localizado o ponto
ID ZT	identificador único da Zona
ID Grid	identificador único do GRID

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 18 – GTFS – Agenda PUDO

[Planejado] stop_times	Descrição Campo
arrival_time	Tempo previsto para veículo chegar no ponto
departure_time	Tempo previsto para veículo partir do ponto
shape_dist_traveled	distância percorrida até o ponto em relação a viagem
stop_headsign	Nome do ponto
Stop_ID	identificador único do ponto
Stop Sequence	número sequencial do ponto em relação a viagem
trip_id	identificador único de viagem

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 19 – Dados secundários – tipo cartão

[Planejado] Cartão	Descrição Campo
Tipo Cartão	código do cartão
Descrição	a que tipo o cartão se refere, ex: Estudante, Idoso, Vale Transporte, etc

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 20 – Dados secundários – tipo frota

[Planejado] Tipo frota	Descrição Campo
Veículo	código do veículo
Modelo	modelo do veículo
Capacidade Assentado	assentos (origem fabricante)
Capacidade em pé	Lugares em pé (origem fabricante)

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 21 – GPS

[Realizado] GPS	Descrição Campo
ID	Id único do registro
Data	Data do registro
Hora do nó	Hora do registro (HH:MM:SS)
Código do veículo	Prefixo do veículo (cadastro GPS)
Código da linha	Código de cadastro na linha
Sentido da viagem	Sentido de viagem cadastrado para dia e faixa horária
Latitude	Posição latitude do veículo
Longitude	Posição longitude do veículo
Velocidade	Velocidade do veículo no trecho
Extensão acumulada	Extensão acumulada de viagem na viagem
Sequência de parada	Número sequencial de ponto a partir da localização do veículo
Identificador de viagem	Identificador de viagem realizada a partir de viagem planejada

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 22 – SBE

[Realizado] SBE	Descrição Campo
Data validação	Data do registro
Horário validação	Hora do registro (HH:MM:SS)
Código do veículo	Prefixo do veículo (cadastro validador)
Código da linha	Código de cadastro na linha
Sentido da viagem	Sentido de viagem cadastrado no validador
Cartão usuário	Id do usuário ou cartão
Tipo cartão	Tipo do cartão usuário
valor	Valor cobrado da tarifa na validação
status	Status da validação (válido para “ok”)
Identificador de viagem	Identificador único de viagem realizada

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 23 – Grid Ipea

[Planejado] Grid	Descrição Campo
Grid_ID	Id único do grid ipea
Male	População total masculina do grid
Female	População total feminina do grid
population	População total (masculina e feminina) do grid

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 24 – ZT

[Planejado] ZT	Descrição Campo
ZT_id	Id único da zona de tráfego
Domicílios	Número de domicílios da área
População	População total da área
Renda	Renda média por domicílio da área
Área	Área total
Residentes médio	Número de residentes médios por domicílio da área
densidade	População dividida pela área

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 25 – Rede

[Planejado] Rede	Descrição Campo
Nome	Nome do link
comprimento	Extensão do link
dir	Sentido do link
tipo	Tipo do link
Número de faixas	Número de faixas dos links por sentido
Velocidade livre	Velocidade média em fluxo livre
Velocidade pico	Velocidade média no pico tarde
capacidade	Capacidade do link em fluxo livre

Fonte: Elaborada pelo autor.