



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES
DOUTORADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES

TESE DE DOUTORAMENTO EM REGIME DE COTUTELA ENTRE A
UNIVERSIDADE DO PORTO E A UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

JOSÉ NAURI CAZUZA DE SOUSA JÚNIOR

ANÁLISE DO DESEMPENHO OPERACIONAL DO SISTEMA DE TRANSPORTE
PÚBLICO DE PASSAGEIROS A PARTIR DE DADOS MASSIVOS

FORTALEZA

2023

JOSÉ NAURI CAZUZA DE SOUSA JÚNIOR

ANÁLISE DO DESEMPENHO OPERACIONAL DO SISTEMA DE TRANSPORTE
PÚBLICO DE PASSAGEIROS A PARTIR DE DADOS MASSIVOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará (UFC), como requisito parcial à obtenção do título de doutor em Engenharia de Transportes. Área de Concentração: Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes

Orientador: Prof. Dr. Mário Ângelo Nunes de Azevedo Filho .

Coorientadora: Profa. Dra. Teresa Galvão Dias

.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S697a Sousa Júnior, José Nauri C. de.

Análise do desempenho operacional do sistema de transporte público de passageiros a partir de dados massivos / José Nauri C. de Sousa Júnior. – 2023.

221 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Fortaleza, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Mário Ângelo Nunes de Azevedo Filho.

Coorientação: Profa. Dra. Maria Teresa Galvão Dias.

1. Transporte público. 2. Análise envoltória de dados. 3. Desempenho operacional. I. Título.

CDD 388

JOSÉ NAURI CAZUZA DE SOUSA JÚNIOR

ANÁLISE DO DESEMPENHO OPERACIONAL DO SISTEMA DE TRANSPORTE
PÚBLICO DE PASSAGEIROS A PARTIR DE DADOS MASSIVOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará (UFC), como requisito parcial à obtenção do título de doutor em Engenharia de Transportes. Área de Concentração: Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes

Aprovada em: 25 de outubro de 2023

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Mário Ângelo Nunes de Azevedo
Filho (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Teresa Galvão Dias
(Coorientadora)
Universidade do Porto (UPORTO)

Prof. Dr. Bruno Vieira Bertoncini
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. João Falcão e Cunha
Universidade do Porto (UPORTO)

Prof. Dr. Cassiano Augusto Isler
Universidade de São Paulo (USP)

Profa. Dra. Viviane Adriano Falcão
Coventry University/ PPGEC - UFPE

Prof. Dr. João Abreu e Silva
Universidade de Lisboa (ULISBOA)

À minha vó Daldite (*in memoriam*), sua presença deixou marcas indeléveis em minha vida, enchendo cada momento com amor, sabedoria e generosidade. As lembranças dos seus abraços acolhedores e conversas agradáveis continuarão a me inspirar e guiar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Federal do Ceará (UFC), instituição a qual frequentei desde 2003 e que possibilitou minha formação como engenheiro, mestre e agora, como doutor.

Agradeço a Universidade do Porto (UPORTO), instituição que permitiu a realização do doutorado em cotutela e a ampliação do conhecimento com outros pesquisadores.

Agradeço ao Governo do Estado do Ceará e a Agência Reguladora do Estado do Ceará pela apoio e liberação dedicada a minha capacitação profissional. Estou verdadeiramente grato por viver no Estado que valoriza e investe no desenvolvimento profissional de seus cidadãos, criando um ambiente propício ao crescimento pessoal e profissional.

Agradeço ao Professor Mário Azevedo pelo seu apoio, consideração e sua amizade ao longo de todo o período na UFC desde a graduação até hoje. Sua atenção e empenho para ajudar são qualidades que fazem dele uma pessoa diferenciada que teve participação fundamental para conclusão do doutorado.

Agradeço à Professora Teresa Galvão pelo excepcional apoio, ensino e dedicação que proporcionou ao longo do meu doutorado. O sucesso deste doutorado é, sem dúvida, um reflexo do seu compromisso incansável com a excelência educacional, e serei eternamente grato por sua influência positiva em minha jornada acadêmica.

Agradeço ao amigo Bruno Prata por sua dedicação, incentivo e apoio que desenvolvi ao longo do curso de graduação, mestrado e doutorado. Boa parte do meu conhecimento e estudo na parte acadêmica se deve ao Bruno, que sempre me ajudou e incentivou a não desistir em momento algum.

Agradeço aos(às) amigos(as) da Coordenadoria de Transporte, pessoas que me apoiaram ao longo do doutorado e trabalham de forma honesta e harmoniosa.

Agradeço aos meus familiares pela ajuda e compreensão ao longo dos meus estudos: meus pais (Edna e Nauri), meus irmãos (Bilneno e Hálida), minha avó Daldite, meu tio Écio e minhas tias (Neuraci e Solange).

Agradeço a minha esposa Brunna, por ser uma fonte constante de apoio, carinho e parceria ao longo dessa jornada. Agradeço por compartilhar comigo não apenas os momentos felizes, mas também os desafios, construindo juntos uma base sólida para o nosso crescimento pessoal e para o fortalecimento da nossa parceria.

RESUMO

A operação do sistema de transporte público de passageiros (STPP) é complexa, pois envolve diversos atores e sofre a interferência de diversas atividades. O monitoramento, a análise e a avaliação se tornam de difícil mensuração. Tradicionalmente, a mensuração da operação é realizada através de pesquisas amostrais ou utiliza informações simplificadas, trazendo consigo grande incerteza. Nos últimos anos, a utilização de *Intelligent Transport Systems* (ITS) permite a produção de dados da oferta e demanda de transporte público através de sistemas de controle de tarifa e de passageiros, de monitoramento usando *Global Positioning System* (GPS) e *General Transit Feed Specification* (GTFS), possibilitando a criação de base de dados para analisar padrões da viagem e comportamento do usuário, estimação de origens e destinos, análise de desempenho, planejamento do sistema, dentre outras aplicações. Nesta tese desenvolve-se uma metodologia de análise de desempenho da operação do transporte público com o uso de dados massivos. A pesquisa tem como finalidade contribuir para a melhoria do desempenho da prestação do serviço do transporte público. Para avaliar a aplicação da metodologia proposta, foram utilizados os dados do sistema de transporte público da Região Metropolitana de Fortaleza. Foram caracterizados aspectos operacionais no tempo-espaço, além de realizar análise de desempenho operacional, com foco em avaliar em quais elementos a operação pode ser melhorada, para se tornar eficiente. O Sistema de Transporte Público de Passageiros pode ser avaliado sob os pontos de vista do usuário, do operador, da sociedade e do poder público, considerando fatores internos e externos. Foi aplicado o método de *Data Envelopment Analysis* (DEA) em quatro etapas, que permitiu avaliar o serviço por rotas, por conjunto de rotas, com a inserção de fatores externos e a evolução da produtividade das rotas ao longo dos anos (2016 a 2022). Como principal contribuição metodológica desta tese, destaca-se o uso de dados massivos, disponíveis em diversos sistemas de transporte público, como ferramenta de apoio à decisão dos gestores e operadores do sistema de transporte público de passageiros, tendo em vista que é possível avaliar a eficiência e identificar rotas que podem melhorar o desempenho operacional.

Palavras-chave: transporte público; análise envoltória de dados; desempenho.

ABSTRACT

Public transportation operation represents a complex system involving various stakeholders and influenced by several activities, rendering monitoring, analysis, and evaluation challenging tasks. Traditionally, operation assessment relies on sample surveys or simplified data, leading to significant uncertainties. In recent years, the adoption of Intelligent Transportation Systems (ITS) has enabled the comprehensive collection of public transportation supply and demand data through fare and passenger control systems, GPS tracking, and General Transit Feed Specification (GTFS). This, in turn, has facilitated the creation of databases for diverse purposes, including travel pattern analysis, user behavior profiling, destination estimation, Origin-Destination matrix construction, performance analysis, system planning, and numerous other studies. This thesis presents a methodology for analyzing the performance of public transportation operations using massive data sets. The research aims to contribute to the enhancement of public transportation service performance. Data from the public transportation system in the Metropolitan Region of Fortaleza were utilized to assess the proposed methodology's applicability in public transportation services. This data allowed for the characterization of operational aspects in both time and space domains and facilitated performance analysis, focusing on identifying areas where operation efficiency can be improved. The Public Transportation System can be evaluated from various perspectives (passenger, operator, society, government) and through multiple factors (internal and external). A four-step Data Envelopment Analysis (DEA) method was applied, evaluating service efficiency by routes and route groups, incorporating external factors, and assessing route productivity evolution over the years (2016 to 2022). The primary methodological contribution of this thesis lies in the utilization of massive data available in various public transportation systems as a decision-support tool for public transportation authorities and operators. This approach enables evaluating efficiency and identifying routes that can enhance operational performance, ultimately leading to a more efficient public transportation system.

Keywords: transit; data envelopment analysis; performance..

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma das etapas do processo de planejamento do transporte público .	28
Figura 2 – Fluxo da etapa de projeto de rede do transporte público	29
Figura 3 – Fluxo da etapa de programação das rotas do transporte público	31
Figura 4 – Fluxo da etapa de programação dos veículos do transporte público	32
Figura 5 – Fluxo da etapa de programação da tripulação do transporte público	33
Figura 6 – Fluxo da etapa de coleta de dados do transporte público	34
Figura 7 – Relacionamento entre as quatro visões distintas da qualidade do serviço - Norma europeia	40
Figura 8 – Categorias de indicadores de desempenho - Norma americana e europeia . .	45
Figura 9 – Classificação das fronteiras de produção	51
Figura 10 – Modelo DEA CCR - Retorno constante de escala	55
Figura 11 – Modelo DEA BCC - Retorno variável de escala crescente	55
Figura 12 – Modelo DEA BCC - Retorno variável de escala decrescente	56
Figura 13 – Etapas de tratamento dos dados do sistema de bilhetagem eletrônica do Sistema de Transporte Público de Passageiros (STPP)	73
Figura 14 – Etapas necessárias para aplicação do método	74
Figura 15 – Etapas da análise de desempenho operacional do STPP com <i>Data Envelop-</i> <i>ment Analysis</i> (DEA)	75
Figura 16 – <i>Inputs e outputs</i> - Modelo DEA Clássico	77
Figura 17 – <i>Inputs e outputs</i> - Modelo Network DEA	78
Figura 18 – <i>Inputs e outputs</i> - Modelo DEA fatores externos	80
Figura 19 – <i>Inputs e outputs</i> - Modelo Índice Malmquist	80
Figura 20 – População por município da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) no ano de 2022	83
Figura 21 – Renda média per capita por município da RMF no ano de 2022	83
Figura 22 – Rotas do transporte público metropolitano	84
Figura 23 – Anéis tarifários do transporte público da RMF	85
Figura 24 – Classificação das rotas por grupo de eficiência	92
Figura 25 – Avaliação de <i>benchmarking</i> da rota 17 - Receita tarifária por tempo de opera- ção em 2016	93

Figura 26 – Avaliação de <i>benchmarking</i> da rota 17 - Passageiros por tempo de operação em 2016	94
Figura 27 – Avaliação de <i>benchmarking</i> da rota 17 - Índice de desempenho operacional .	95
Figura 28 – Avaliação de <i>benchmarking</i> da rota 17 - Evolução oferta x demanda de 2016 à 2022	96
Figura 29 – Avaliação de <i>benchmarking</i> da rota 58 - Receita tarifária por tempo de operação em 2016	97
Figura 30 – Avaliação de <i>benchmarking</i> da rota 58 - Passageiros por tempo de operação em 2016	98
Figura 31 – Avaliação de <i>benchmarking</i> da rota 58 - Índice de desempenho operacional .	98
Figura 32 – Avaliação de <i>benchmarking</i> da rota 58 - Evolução oferta x demanda de 2016 à 2022	99
Figura 33 – Avaliação de <i>benchmarking</i> da rota 55 - Receita tarifária por tempo de operação em 2016	100
Figura 34 – Avaliação de <i>benchmarking</i> da rota 55 - Passageiros por tempo de operação em 2016	100
Figura 35 – Avaliação de <i>benchmarking</i> da rota 55 - Índice de desempenho operacional .	101
Figura 36 – Avaliação de <i>benchmarking</i> da rota 55 - Evolução oferta x demanda de 2016 à 2022	102
Figura 37 – Avaliação de <i>benchmarking</i> da rota 17 - Índice de desempenho estágios 1 (a) e 2 (b)	104
Figura 38 – Avaliação de <i>benchmarking</i> da rota 58 - Índice de desempenho estágios 1 (a) e 2 (b)	105
Figura 39 – Avaliação de <i>benchmarking</i> da rota 55 - Índice de desempenho estágios 1 (a) e 2 (b)	106
Figura 40 – Área de influência da rota 17 - População	107
Figura 41 – Comparativo dos fatores externos da rota 17 e <i>benchmarking</i>	108
Figura 42 – Comparativo das variáveis e indicador da rota 17 e <i>benchmarking</i>	109
Figura 43 – Área de influência da rota 58 - População	110
Figura 44 – Comparativo dos fatores externos da rota 58 e <i>benchmarking</i>	110
Figura 45 – Comparativo das variáveis e indicador da rota 58 e <i>benchmarking</i>	111
Figura 46 – Área de influência da rota 55 - População	111

Figura 47 – Comparativo dos fatores externos da rota 55 e <i>benchmarking</i>	112
Figura 48 – Comparativo das variáveis e indicador da rota 55 e <i>benchmarking</i>	112
Figura 49 – Índice Malmquist e mudança de eficiência e tecnológica da rota 17 e <i>benchmarking</i>	115
Figura 50 – Índice Malmquist e mudança de eficiência e tecnológica da rota 58 e <i>benchmarking</i>	116
Figura 51 – Índice Malmquist e mudança de eficiência e tecnológica da rota 55 e <i>benchmarking</i>	117
Figura 52 – Resultados do modelo 1 no ano de 2016 por rotas das empresas Vitória (a) e Viametro (b)	121
Figura 53 – Resultados do modelo 2 no ano de 2016 por rotas da empresa Vitória - estágio 1 (a) e estágio 2 (b)	122
Figura 54 – Resultados do modelo 2 no ano de 2016 por rotas da empresa Viametro - estágio 1 (a) e estágio 2 (b)	123
Figura 55 – Resultados do modelo 3 no ano de 2016 por rotas das empresas Vitória (a) e Viametro (b)	124
Figura 56 – Resultados do modelo 4 no período 2016/2017 por rotas das empresas Vitória (a) e Viametro (b)	125
Figura 57 – Corredores viários da RMF	128
Figura 58 – Resultados do modelo 1 no ano de 2016 para os corredores viários 1 (a) e 2 (b)	129
Figura 59 – Resultados do modelo 2 no ano de 2016 para o corredor viário 1 - estágio 1 (a) e estágio 2 (b)	130
Figura 60 – Resultados do modelo 2 no ano de 2016 para o corredor viário 2 - estágio 1 (a) e estágio 2 (b)	131
Figura 61 – Resultados do modelo 3 no ano de 2016 para os corredores viários 1 (a) e 2 (b)	132
Figura 62 – Resultados do modelo 4 no período 2016/2017 para os corredores viários 1 (a) e 2 (b)	133
Figura 63 – Resultados do modelo 1 no ano de 2016 para rotas dos grupos 1 (a) e 2 (b) .	134
Figura 64 – Resultados do modelo 2 no ano de 2016 para rotas do grupo 1 - estágio 1 (a) e estágio 2 (b)	135
Figura 65 – Resultados do modelo 2 no ano de 2016 para rotas do grupo 2 - estágio 1 (a) e estágio 2 (b)	136

Figura 66 – Resultados do modelo 3 no ano de 2016 para rotas dos grupos 1 (a) e 2 (b) .	137
Figura 67 – Resultados do modelo 4 no período 2016/2017 para rotas dos grupos 1 (a) e 2 (b)	138
Figura 68 – Painel de visualização dos resultados da rota 17 para o ano de 2016	140
Figura 69 – Painel de visualização dos resultados da rota 58 para o ano de 2016	140
Figura 70 – Painel de visualização dos resultados da rota 55 para o ano de 2016	141
Figura 71 – Resultados do modelo 1 no ano de 2016 por rotas das empresas São Benedito (a) e Anfrolanda (b)	195
Figura 72 – Resultados do modelo 2 no ano de 2016 por rotas da empresa São Benedito - estágio 1 (a) e estágio 2 (b)	196
Figura 73 – Resultados do modelo 2 no ano de 2016 por rotas da empresa Anfrolanda - estágio 1 (a) e estágio 2 (b)	197
Figura 74 – Resultados do modelo 3 no ano de 2016 por rotas das empresas São Benedito (a) e Anfrolanda (b)	198
Figura 75 – Resultados do modelo 4 no período 2016/2017 por rotas das empresas São Benedito (a) e Anfrolanda (b)	199
Figura 76 – Resultados do modelo 1 no ano de 2016 por rotas das empresas Fretcar (a) e São Paulo (b)	200
Figura 77 – Resultados do modelo 2 no ano de 2016 por rotas da empresa São Paulo - estágio 1 (a) e estágio 2 (b)	201
Figura 78 – Resultados do modelo 2 no ano de 2016 por rotas da empresa Fretcar - estágio 1 (a) e estágio 2 (b)	202
Figura 79 – Resultados do modelo 3 no ano de 2016 por rotas das empresas Fretcar (a) e São Paulo (b)	203
Figura 80 – Resultados do modelo 4 no período 2016/2017 por rotas das empresas Fretcar (a) e São Paulo (b)	204
Figura 81 – Resultados do modelo 1 no ano de 2016 para os corredores viários 3 (a) e 4 (b)	205
Figura 82 – Resultados do modelo 2 no ano de 2016 para o corredor viário 3 - estágio 1 (a) e estágio 2 (b)	206
Figura 83 – Resultados do modelo 2 no ano de 2016 para o corredor viário 4 - estágio 1 (a) e estágio 2 (b)	207
Figura 84 – Resultados do modelo 3 no ano de 2016 para os corredores viários 3 (a) e 4 (b)	208

Figura 85 – Resultados do modelo 4 no período 2016/2017 para os corredores viários 3 (a) e 4 (b)	209
Figura 86 – Resultados do modelo 1 no ano de 2016 para os corredores viários 5 (a) e 6 (b)	210
Figura 87 – Resultados do modelo 2 no ano de 2016 para o corredor viário 5 - estágio 1 (a) e estágio 2 (b)	211
Figura 88 – Resultados do modelo 2 no ano de 2016 para o corredor viário 6 - estágio 1 (a) e estágio 2 (b)	212
Figura 89 – Resultados do modelo 3 no ano de 2016 para os corredores viários 5 (a) e 6 (b)	213
Figura 90 – Resultados do modelo 4 no período 2016/2017 para os corredores viários 5 (a) e 6 (b)	214
Figura 91 – Resultados do modelo 1 no ano de 2016 para rotas dos grupos 3 (a) e 4 (b) .	215
Figura 92 – Resultados do modelo 2 no ano de 2016 para rotas do grupo 3 - estágio 1 (a) e estágio 2 (b)	216
Figura 93 – Resultados do modelo 2 no ano de 2016 para rotas do grupo 4 - estágio 1 (a) e estágio 2 (b)	217
Figura 94 – Resultados do modelo 3 no ano de 2016 para rotas dos grupos 3 (a) e 4 (b) .	218
Figura 95 – Resultados do modelo 4 no período 2016/2017 para rotas dos grupos 3 (a) e 4 (b)	219

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos indicadores de desempenho por categoria	46
Tabela 2 – Classificação das publicações de acordo com as categorias da Tabela 1	47
Tabela 3 – Quantidade de rotas por empresa no período de 2016 a 2022	84
Tabela 4 – Valor da tarifa por anel tarifário em 2022	85
Tabela 5 – Descrição das colunas da base de dados de bilhetagem	86
Tabela 6 – Dados resultantes das etapas de pré-processamento dos dados do sistema de bilhetagem	87
Tabela 7 – Estatística descritiva do tempo de operação - em horas	88
Tabela 8 – Estatística descritiva da idade do veículo - em anos	89
Tabela 9 – Estatística descritiva da quilometragem percorrida - em km	89
Tabela 10 – Estatística descritiva da receita tarifária	90
Tabela 11 – Estatística descritiva da quantidade de passageiros	91
Tabela 12 – Análise de desempenho operacional das rotas de ônibus - modelo clássico .	92
Tabela 13 – Análise de desempenho operacional das rotas de ônibus - modelo <i>Network</i> DEA	103
Tabela 14 – Análise de desempenho operacional das rotas de ônibus - fatores externos .	107
Tabela 15 – Análise de desempenho operacional das rotas de ônibus - Índice Malmquist	113
Tabela 16 – Resumo da média do índice de desempenho operacional por empresa no ano de 2016	127
Tabela 17 – Resumo da média do índice de desempenho operacional por corredores viários no ano de 2016	131
Tabela 18 – Resumo da média do índice de desempenho operacional por grupo de extensão de rotas no ano de 2016	137

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
ANTP	Associação Nacional dos Transportes Públicos
APC	<i>Automatic Passanger Counters</i>
APTS	<i>Advanced Public Transportation Systems</i>
Arce	Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados do Estado do Ceará
AVL	<i>Automatic Vehicle Location</i>
BCC	Banker, Charnes e Cooper
CCR	Charnes, Cooper e Rhodes
Crisp-DM	<i>Cross-Industry Standard Process for Data Mining</i>
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i>
DMU	<i>Decision Making Units</i>
FDH	<i>Free Disposal Hull</i>
GEIPOT	Grupo Executivo para a Integração da Política de Transportes
GIS	<i>Geographic Information System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
ITS	<i>Intelligent Transport Systems</i>
RMF	Região Metropolitana de Fortaleza
SBE	Sistema de Bilhetagem Eletrônica
STPP	Sistema de Transporte Público de Passageiros

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Problemática	19
1.2	Objetivos	21
1.3	Justificativa	22
1.4	Delimitação dos estudos	23
1.5	Principais contribuições	23
1.6	Estrutura do trabalho	24
2	PLANEJAMENTO DO TRANSPORTE PÚBLICO	26
2.1	Importância do planejamento do transporte público	26
2.2	Processo de planejamento operacional do transporte público	27
2.2.1	<i>Projeto de rede</i>	<i>28</i>
2.2.2	<i>Programação das rotas</i>	<i>30</i>
2.2.3	<i>Programação dos veículos</i>	<i>31</i>
2.2.4	<i>Programação da tripulação</i>	<i>32</i>
2.3	Coleta de dados	33
2.4	Conclusão	35
3	DESEMPENHO OPERACIONAL DO TRANSPORTE PÚBLICO . . .	36
3.1	Importância do desempenho operacional do transporte público	37
3.2	Ponto de vista da análise de desempenho	38
3.3	Etapas do processo de medida de desempenho	41
3.4	Análise de desempenho em sistemas de transporte público	43
3.5	Métodos de análise de desempenho	50
3.6	Conclusão	52
4	ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS DO TRANSPORTE PÚBLICO	54
4.1	Análise Envoltória de Dados	54
4.1.1	<i>Network DEA</i>	<i>59</i>
4.1.2	<i>DEA fatores externos - Modelo separação de fronteiras</i>	<i>61</i>
4.1.3	<i>DEA ao longo do tempo - Índice Malmquist</i>	<i>62</i>
4.2	Aplicações de DEA no Sistema de Transporte Público de Passageiros . .	63
4.3	Conclusão	69

5	ANÁLISE DO DESEMPENHO OPERACIONAL DO TRANSPORTE PÚBLICO EM 4 ETAPAS	71
5.1	Tratamento dos dados	71
5.2	Métodos de análise	73
5.2.1	<i>Análise por rotas pelo método clássico</i>	<i>76</i>
5.2.2	<i>Análise por rotas pelo método Network DEA</i>	<i>78</i>
5.2.3	<i>Análise de fatores externos</i>	<i>79</i>
5.2.4	<i>Análise da evolução do desempenho ao longo do tempo</i>	<i>80</i>
5.3	Conclusão	81
6	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA NO SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO DA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA (RMF)	82
6.1	Área de estudo	82
6.2	Análise por rotas - modelo clássico	91
6.3	Análise por rotas - modelo Network DEA	102
6.4	Análise de fatores externos	106
6.5	Análise ao longo do tempo - Índice Malmquist	113
6.6	Conclusão	117
7	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	120
7.1	Por empresa	121
7.2	Por corredor viário	127
7.3	Por grupo de extensão da rota	133
7.4	Painel de visualização dos resultados	139
7.5	Conclusão	141
8	CONCLUSÕES	142
8.1	Contribuições	143
8.2	Limitações	144
8.3	Perspectivas de trabalhos futuros	144
	REFERÊNCIAS	146
	APÊNDICE A –CLASSIFICAÇÃO DAS PUBLICAÇÕES DE ACORDO COM AS CATEGORIAS DA TABELA 1	157
	APÊNDICE B –BASE DE DADOS DE CADASTRO DAS ROTAS	161

APÊNDICE C –VARIÁVEIS DO SISTEMA METROPOLITANO 2016 -	
2022	165
APÊNDICE D –RESULTADOS POR ROTA - 2016 À 2022	186
APÊNDICE E –GRÁFICO DOS RESULTADOS POR EMPRESA . . .	195
APÊNDICE F –GRÁFICO DOS RESULTADOS POR CORREDOR	
VIÁRIO	205
APÊNDICE G –GRÁFICO DOS RESULTADOS POR GRUPO DE EX-	
TENSÃO DA ROTA	215

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo contextualiza o tema de investigação abordado nesta tese. A seção 1.1 aborda a problemática subjacente à pesquisa. A seção 1.2 apresentam-se os objetivos do trabalho. A seção 1.3 expõe as justificativas para a análise do setor dos transporte público enquanto a seção 1.4 delimita o seu âmbito. Por fim, a seção 1.5 destaca as principais contribuições que esta tese proporciona e na seção 1.6 é apresentado o esquema que norteará a estrutura da tese.

1.1 Problemática

O transporte público tem uma grande relevância nas grandes cidades e áreas metropolitanas em todo o mundo, pois, além de ser transporte em massa, contribui com a questão ambiental e para o bem-estar dos cidadãos atendendo, principalmente, a camada da população de mais baixa renda. Debnath (2022) afirma que o transporte eficiente desempenha papel significativo no desenvolvimento de qualquer região. Alonso *et al.* (2021) citam que um dos desafios enfrentados atualmente pelos países emergentes é conseguir que seus cidadãos utilizem transporte sustentável para suas viagens regulares, a fim de reduzir a poluição.

O desafio dos centros urbanos na movimentação das pessoas é maior devido a infraestrutura inadequada, aumento de frota de veículos particulares, que resulta em congestionamento, e sistema de transporte público ineficiente (HANUMAPPA *et al.*, 2015). Na maior parte dos países, o transporte público tem a gestão e regulação realizada por instituições governamentais para fornecer um serviço de qualidade e que seja abrangente espacialmente e temporalmente para atender os anseios e necessidade de deslocamentos da população para cumprimento das atividades (trabalho, educação, lazer, saúde etc).

No transporte público, um dos principais sistemas que registram dados é o Sistema de Bilhetagem Eletrônica (SBE), que tem como objetivo principal a disponibilização da opção de pagamento eletrônica, sendo um método seguro de registro tarifário. Além desta função, o registro destes dados é potencialmente relevante para o estudo do setor, pois podem fornecer informações sobre a localização (da rota, do ponto de embarque/desembarque), o tempo (horário de início e término da viagem, horário da validação do pagamento da passagem), a política tarifária (valor pago, subsídio, valor arrecadado por rota ou viagem), além de outros aspectos operacionais, como a integração com outros modos e tipos de usuários cadastrados. O sistema de bilhetagem eletrônica é composto de componentes, dentre os quais: validadores (que registram

o embarque/desembarque e o valor pago) e cartão de transporte (*smart card* que são o tipo de cartão mais utilizados nos transportes públicos nas grandes cidades). Além destes componentes, são necessários para o funcionamento adequado do SBE *softwares* e pessoal qualificado.

O registro de dados do transporte público ainda permite minimizar os custos ao reduzir a necessidade de contratação de pesquisas. Conforme Zhou *et al.* (2019) a coleta de dados tradicionais tem custo elevado, além dos dados serem atualizados com pouca frequência (cinco, dez ou mais anos). No Brasil, por exemplo, o Censo demográfico é realizado a cada dez anos, com pesquisas domiciliares um período relativamente longo, em que muitas decisões ou políticas de curto prazo devem ser tomadas. Principalmente nos anos recentes, com avanços da tecnologia e internet, o padrão de deslocamento nas regiões urbanas tem mudado constantemente.

Dempsey e Stephen (2007) enfatizam a importância dos dados do sistema de bilheta-gem eletrônica SBE. Ao melhorar a qualidade dos dados, além de fornecer ao transporte público um aspecto mais moderno, novas oportunidades surgem para a estruturação de políticas tarifárias inovadoras e flexíveis. Já Lin e Hsu (2014), Liu *et al.* (2019) e Zhou *et al.* (2019) asseguram que investigar padrões de mobilidade individual é uma área de pesquisa emergente, com o uso dos dados do SBE implantados no sistema de transporte público de passageiros em diversas cidades do mundo. Tal linha de investigação torna-se viável com o registro das transações de cada passageiro, o que possibilita analisar cada viagem desagregada. Pelletier *et al.* (2011) e Bagchi e White (2005) corroboram que os dados de *smart card* possibilitam muitos novos métodos de pesquisa em transporte público.

Além do potencial dos dados, Arbex e Cunha (2017) citam que a utilização impõe um grande desafio, pois o volume é muito elevado, e as metodologias tradicionais nem sempre são adequadas para explorar a imensa quantidade de informações e suas nuances. Portanto, torna-se relevante o estudo de novas ferramentas e métodos, tais como a utilização de novas bases de dados que possam melhorar o serviço de transporte público. Há outro desafio que é a capacitação das equipes dos órgãos gestores e das operadoras do serviço, de forma a poder extrair o máximo de informação dos dados gerados.

Como já mencionado, dada a complexidade do sistema de transporte público de passageiros, há a necessidade de rigor técnico e do uso de dados para analisá-lo. Pelos trabalhos analisados, há espaço para novas pesquisas relacionadas ao uso dos dados massivos no Sistema de Transporte Público de Passageiros STPP, principalmente no ponto específico deste estudo, que é a análise do desempenho da operação para apoio à decisão. Os dados massivos do

transporte público, do ponto de vista do usuário, têm importância ao permitir a disponibilização de informações da operação (seja da rota, da rede ou da característica do veículo), que podem auxiliar na tomada de decisão e aumentar a confiabilidade do serviço, além de poder agregar novos passageiros com a transparência da informação.

Na visão dos gestores e órgãos reguladores, a utilização de dados massivos da operação pode contribuir para acompanhamento do serviço e na tomada de decisões com base na realidade operacional do sistema de transporte público de passageiros. Além disso, o banco de dados dos registros das transações de passageiros pode ser compartilhado entre as autoridades públicas e operadores, o que reduz a assimetria de informações entre os atores envolvidos no STPP.

Os operadores, apesar de já disporem de tais registros, nem sempre utilizam todo o potencial, devido à falta de pessoal e até o desconhecimento da quantidade e qualidade de registros. Com o uso destes dados, e o acompanhamento através de indicadores será possível melhorar o controle da operação, com ajuste da programação e realocação de veículos, além de possibilitar a correção de falhas, o que acarretará redução de custos e trará benefícios ao operador, ao órgão gestor e ao usuário.

Portanto, o uso de informações obtidas através do uso de dados massivos, complementado de outras bases de dados e pesquisas, para o STPP, pode apoiar os atores envolvidos na melhoria da operação do serviço prestado.

A principal questão de pesquisa a ser abordada é: qual é um método adequado para realizar análise do desempenho operacional do sistema de transporte público de passageiros que utilize os dados registrados no sistema de bilhetagem eletrônica?

1.2 Objetivos

O objetivo geral da pesquisa é propor um método de análise de desempenho operacional do STPP que forneça uma ferramenta de apoio à decisão do desempenho do transporte público com base em dados massivos.

Para atingir os resultados do objetivo geral, necessita-se atingir os seguintes objetivos específicos:

- Realizar uma análise dos procedimentos existentes na literatura para avaliação do desempenho operacional do sistema de transporte público de passageiros, além de identificar as lacunas a serem pesquisadas;

- Estabelecer procedimentos de análise de desempenho para STPP, de maneira que a padronização em etapas deixe o processo claro, transparente e didático e pode ser um guia de referência a ser utilizado em outras pesquisas do setor;
- Selecionar indicadores operacionais obtidos dos dados massivos quanto à capacidade para mensurar o desempenho da operação, como forma de obtenção de variáveis que representem a operação do sistema de transporte público de passageiros;
- Propor a metodologia a partir do conjunto de indicadores selecionados para análise do desempenho operacional do STPP com base em dados massivos;
- Aplicar a metodologia proposta de avaliação do desempenho operacional no sistema de transporte público da Região Metropolitana de Fortaleza.

1.3 Justificativa

O aumento da população e da taxa de urbanização das cidades juntamente com a carência de investimentos em infraestrutura e serviços para acompanhar o crescimento, ocasiona graves problemas urbanos, dentre eles na mobilidade. Os grandes centros urbanos tem diversos problemas para realizar os deslocamentos da população, principalmente, a população de baixa renda que tem moradia em áreas periféricas, o que dificulta o transporte dessa parcela da população.

Além disso, a questão orçamentária, tanto da população quanto dos governos, é uma restrição a ser superada para a melhoria do transporte público, tendo em vista que o valor da tarifa do transporte pode comprometer uma parcela significativa do orçamento familiar, principalmente, nos países em desenvolvimento. E quanto aos governos, também não há orçamento para atender todas as necessidades da população (moradia, educação, saúde, trabalho, lazer,...), o que impacta na falta de recursos para investimentos e melhorias do transporte público.

Portanto, há espaço para novas pesquisas que possam contribuir para melhoria do transporte público, de maneira a reduzir os problemas de mobilidade (redução dos congestionamentos nas cidades), e assim, proporcionar uma qualidade de vida melhor nos grandes centros urbanos.

A dinâmica da oferta e demanda do transporte público é outro ponto que torna a área de transportes um contínuo campo para estudos, tendo em vista a necessidade constante de otimização dos recursos para atender uma demanda que tem comportamento que mudam no tempo e espaço, além das características comportamentais do usuário. Com o uso de

novas tecnologias no sistema de transporte público de passageiros, está sendo possível realizar estudos com novas fonte de dados e ferramentas de análise que permitem ter um diagnóstico e caracterização do serviço prestado com melhor qualidade e em espaço de tempo reduzido, proporcionando o fornecimento de elementos para subsidiar os tomadores de decisão.

A análise de desempenho operacional do transporte público pode fornecer um diagnóstico da situação atual e auxiliar a criar cenários de situações futuras. A necessidade de comparar rotas, operadores e momentos diferentes é fundamental para a tomada de decisões racionais e adequadas. Ao fazer uma avaliação de desempenho com bases nos dados do SBE, é possível ter melhor compreensão do que está a funcionar e o que não está, e assim, saber os passos a serem atingidos para a melhoria do desempenho.

1.4 Delimitação dos estudos

O estudo do planejamento do transporte público é vasto e complexo de ser analisado em todas as etapas. Portanto, cabe destacar os seguintes pontos quanto à delimitação no presente estudo:

- Quanto ao modo de transporte, o foco será apenas no sistema de transporte público de passageiros rodoviário, não sendo objeto aspectos relacionados a integração com outros modos.
- Quanto aos dados para análise, foram utilizados dados de oferta e demanda realizados, não considerando os dados de oferta planejado.
- Quanto ao ponto de vista a ser considerado para avaliação do sistema de transporte público de passageiros, a pesquisa analisa com base na visão dos gestores e operadores, que são atores responsáveis por adoção de medidas que possam impactar diretamente o serviço, e assim ocasionar impactos aos usuários e população em geral da região de influência do transporte público.

1.5 Principais contribuições

Este trabalho demonstra a viabilidade do tratamento dos dados de registros do SBE e da mineração de dados, e o potencial que esta fonte de dados alternativa tem para concepção de uma proposta metodológica de análise de desempenho da operação em quatro etapas.

Uma outra contribuição consiste na definição de uma metodologia inovadora dividida

em quatro etapas para realizar medição de desempenho que pode ser aplicado para outras agências de transportes.

A metodologia proposta permite a análise mais completa, ao abordar mais elementos, fato que não ocorre em outras pesquisas, conforme revisão da literatura nos capítulos 2, 3 e 4.

1.6 Estrutura do trabalho

O presente documento de tese encontra-se organizado em oito capítulos, conforme descrito a seguir:

Capítulo 1: O presente capítulo apresenta a introdução, que contextualiza esta pesquisa; a importância de dados massivos no STPP e a sua utilização para caracterizar e analisar o desempenho operacional do sistema; apresenta, também, a problemática, o objetivo geral e os objetivos específicos, a justificativa, a contribuição e a estrutura da tese.

Capítulo 2: Este capítulo realiza uma análise do processo de planejamento do sistema de transporte público de passageiros na literatura, abordando a importância do planejamento do transporte público, assim como as etapas do processo de planejamento, a avaliação do serviço ofertado e a coleta de dados.

Capítulo 3: Este capítulo destaca elementos do desempenho operacional do sistema de transporte público de passageiros, dando ênfase às perspectivas possíveis de serem analisadas, às etapas do processo de medidas de desempenho, a forma de classificação e as ferramentas utilizadas na análise de desempenho.

Capítulo 4: Este capítulo destaca elementos do método *Data Envelopment Analysis* DEA, os tipos de modelos e aplicações do DEA no STPP.

Capítulo 5: Este capítulo apresenta uma proposta de metodologia em quatro etapas para analisar o desempenho operacional do sistema de transporte público de passageiros, com base nos dados massivos. A análise será realizada por rotas, conjunto de rotas, com fatores externos e ao longo do tempo.

Capítulo 6: Este capítulo aplica a metodologia do capítulo 5 no sistema de transporte público de passageiros da Região Metropolitana de Fortaleza. Para isso, é utilizada a base de dados disponibilizada pela Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados do Estado do Ceará (Arce) para seleção das variáveis e aplicação das quatro etapas.

Capítulo 7: Este capítulo apresenta a discussão e os resultados da pesquisa com a integração das quatro etapas analisadas no capítulo 6.

Capítulo 8: Este capítulo apresenta as conclusões gerais da pesquisa, com destaque para os principais resultados obtidos pela metodologia proposta, as limitações, assim como proposição de pesquisas futuras.

2 PLANEJAMENTO DO TRANSPORTE PÚBLICO

O presente capítulo tem como objetivo realizar a revisão de pesquisas sobre o planejamento do sistema de transporte público de passageiros, com descrição dos principais aspectos do processo do planejamento da operação do transporte público e coleta de dados com a inserção de novas tecnologias. A seção de introdução apresenta a importância do planejamento do transporte público; a seção seguinte é referente ao processo de planejamento operacional do transporte público, com a separação em etapas e com destaques para pontos que são necessários para implementação de cada etapa, e assim, avançar para finalização do processo de planejamento. A terceira seção aborda a coleta de dados no transporte público, as principais formas de coletas e os dados que são utilizados na literatura para diferentes aplicações. Por fim, é realizada a conclusão do capítulo.

2.1 Importância do planejamento do transporte público

Hörcher e Tirachini (2021) definem o sistema de transporte público de passageiros como transporte de alta capacidade que tem características com rotas e horários fixos, e que é a espinha dorsal do sistema urbano, especialmente em áreas metropolitanas densamente povoadas. Outra definição de sistema de transporte público de passageiros é dada pela Lei Brasileira nº 12.587/2012, no Art. 4º inciso VI, que institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana, que considera um serviço público de transporte de passageiros acessível a toda a população mediante pagamento individualizado, com itinerários e preços fixados pelo poder público (BRASIL, 2012).

O planejamento do transporte público tem sua importância devido ao impacto do serviço nas cidades e metrópoles em todo o mundo. Batty (2013) afirma que as cidades não são simplesmente conjuntos de lugares, mas sistemas nos quais redes e fluxos são projetados dinamicamente, interconectados e interagindo. De acordo com Amicci *et al.* (2018), a missão do transporte público é garantir estas conexões de forma democrática, sustentável e eficiente.

Um gargalo dos centros urbanos na movimentação das pessoas devido à infraestrutura inadequada e aumento de frota de veículos particulares é a formação de congestionamento, o que resulta em sistema de transporte público ineficiente (HANUMAPPA *et al.*, 2015). Logo, um dos desafios do processo de planejamento do transporte público é tornar a coordenação do transporte público mais eficiente, garantindo melhor alocação de recursos e permitir uma melhor oferta aos

usuários.

Portanto, a definição das etapas do processo de planejamento operacional do transporte público, assim como os elementos que compõem, são relevantes para obtenção de resultado satisfatório do planejamento.

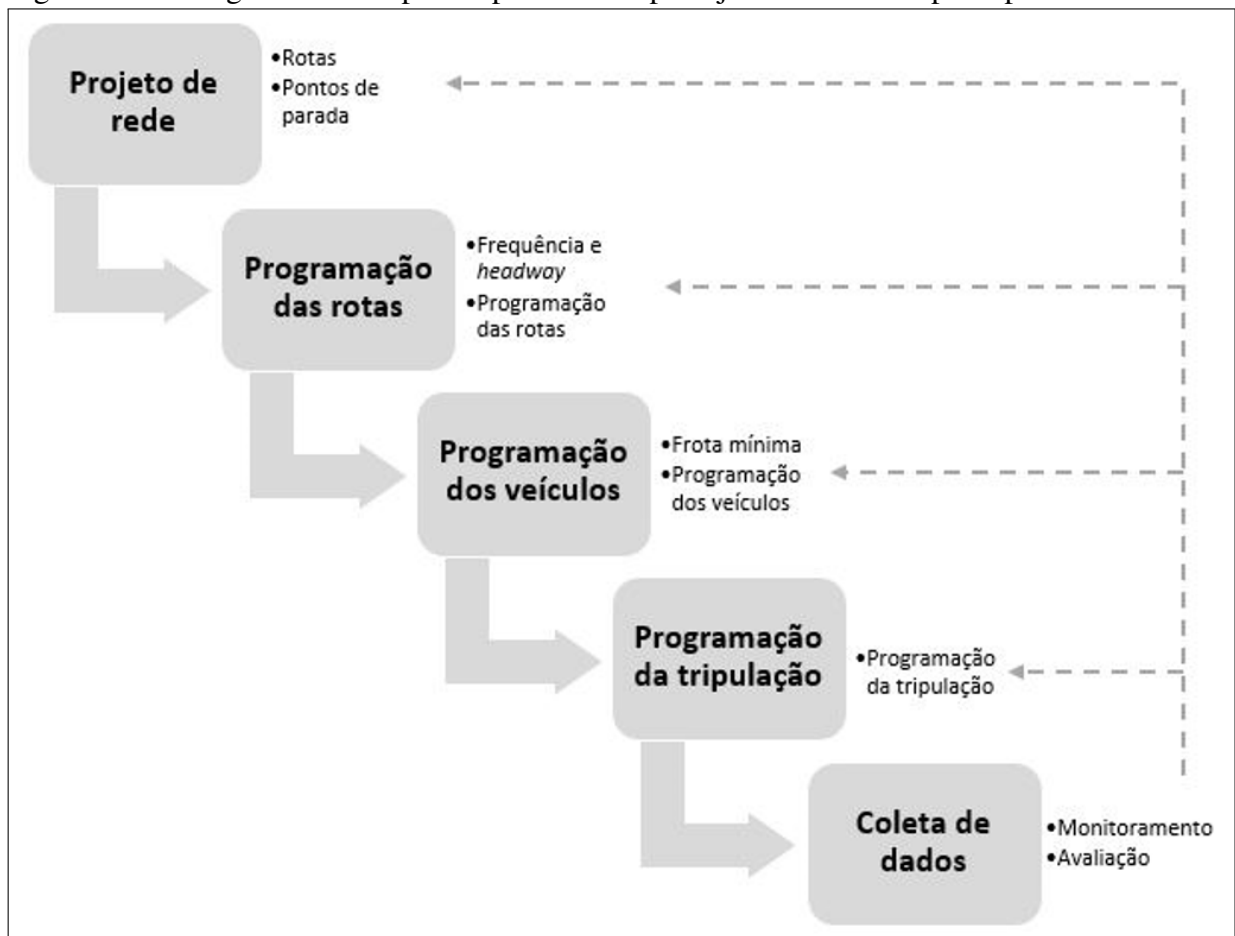
2.2 Processo de planejamento operacional do transporte público

Ceder (2007) e Ibarra-Rojas *et al.* (2015) construíram fluxos que compreendem as etapas do processo de planejamento de transporte público. Enquanto Ceder (2007) divide as etapas em atividades (projeto de rede das rotas, programação horária das rotas, dos veículos e da tripulação), Ibarra-Rojas *et al.* (2015) classificam em problemas (projeto de rede de transporte público, frequência e programação horária, programação dos veículos e tripulação, escala semanal/mensal da tripulação e controle em tempo real).

A comparação dos fluxogramas demonstra que Ibarra-Rojas *et al.* (2015) consideram o controle em tempo real que não é apresentado por Ceder (2007), além disso os fluxogramas apresentam apenas algumas setas com indicação de retroalimentação, mas todo o processo é dinâmico e estará em constante mudança e readequações. Apesar da abordagem das etapas serem diferentes, os pontos de cada etapa são semelhantes com o objetivo de cobrir todo o planejamento do transporte público. A Figura 1 esquematiza as principais etapas e os respectivos resultados obtidos da etapa.

Os estudos Gkiotsalitis (2021) e Gkiotsalitis e Cats (2021b) abordam o processo de planejamento operacional do transporte público. Enquanto Gkiotsalitis (2021) analisam o conceito de rede do transporte público ao elaborar um modelo para o problema de *stop-skipping* (pular paradas, de maneira a reduzir atrasos e melhorar o tempo de viagem) para um grupo de viagens, outros trabalhos consideram apenas viagens isoladas, Gkiotsalitis e Cats (2021b) fazem uma revisão da literatura do impacto do COVID-19 no planejamento do transporte público, salientando que os projetos de rede podem responder por oscilações da demanda de passageiros se tiverem sido planejados de forma robustas, mas ressalta que as variações ocasionadas no período da pandemia exigem ajustes adicionais.

Figura 1 – Fluxograma das etapas do processo de planejamento do transporte público



Fonte: Elaborado pelo autor(2023). Adaptado Ceder (2007) e Ibarra-Rojas *et al.* (2015).

De maneira a abordar as principais etapas do processo de planejamento do transporte público, os tópicos a seguir descrevem, especificamente, os elementos-chave da operação com base em trabalhos já publicados e no acompanhamento de sistemas de transportes públicos em operação.

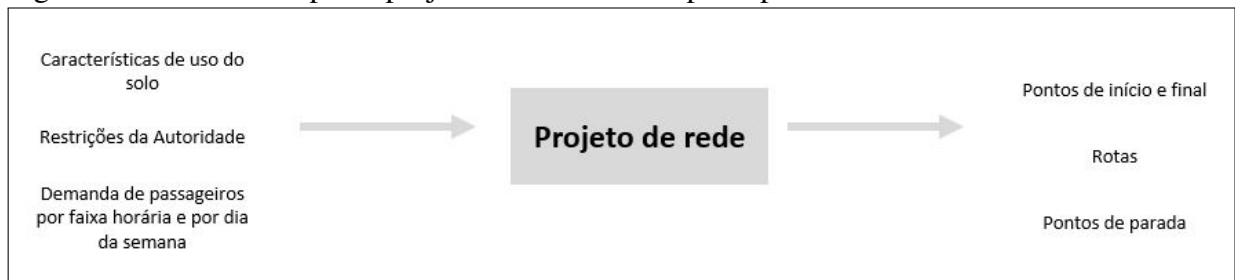
2.2.1 Projeto de rede

A concepção de um projeto de rede tem como elementos necessários para construção ou avaliação da rede aspectos que caracterizam a localidade, como o porte da cidade/região, o uso e ocupação do solo, perfil sócio-econômico da população, restrições orçamentárias, padrões das atividades durante o dia/semana, entre outros, de maneira a obter uma estrutura de rede que venha a atender adequadamente o público a que se destina. Com base nos dados obtidos e traçado o cenário de como o transporte público pode atender as necessidades da região, é possível obter como resultado dessa etapa um conjunto de rotas e paradas, além de estrutura tarifária.

Esta etapa é a base do processo de planejamento e fundamental para obtenção de

um sistema de transporte público de passageiros que venha atender os anseios da população. A Figura 2 mostra os principais dados de entrada (uso do solo, restrições do poder público e dados da demanda) para se conceber um projeto de rede e os resultados (localização de início/fim, itinerário e pontos de parada das rotas).

Figura 2 – Fluxo da etapa de projeto de rede do transporte público



Fonte: Elaborado pelo autor(2023).

Cipriani *et al.* (2020) afirmam que o problema de projeto de rede de transporte público consiste em determinar a configuração ideal (ou quase ótima) da rede em termos de rotas (variáveis discretas) e frequências (variáveis de continuidade) a fim de minimizar a função objetivo, que representa os custos totais envolvidos com o sistema de transporte público de passageiros. Já Dakic *et al.* (2021) investigam os efeitos da intensidade da demanda, comportamento do usuário e padrões de comprimento de viagem no projeto de rede de ônibus ideal, bem como os efeitos que a estrutura da rede pode ter no desempenho do transporte público e na escolha do modo pelo passageiro.

A perspectiva a ser analisada no planejamento do transporte público interfere na escolha das variáveis. No estudo de De-Los-Santos *et al.* (2021) classificam as funções objetivo consideradas em problemas de planejamento de transporte em orientadas ao usuário e/ou ao operador. Ao usuário, a função leva em consideração o alto número de viagens diretas ou menor número de transferências, com maior área de abrangência e minimizando o tempo total de viagem. Já para o operador, o objetivo geral é minimizar a distância total ou número de linhas, de maneira a minimizar os custos relacionados a frota e a tripulação. Além disso, o autor afirma que é necessário um bom desenho de rede, garantindo conectividade e tornando o sistema de transporte atraente para as pessoas, garantindo assim que o objetivo social é alcançado.

O planejamento do transporte público apesar de ter as etapas bem definidas na literatura, tem a especificidade da região, localidade ou área de influência. Hörcher e Tirachini (2021) citam que nenhuma regra pode ser considerada como aplicável a todas as cidades devido a estrutura de preços do transporte público ser altamente dependente do local, do contexto social

e da política de uso do solo. E alerta para a situação do transporte público pós pandemia, com o prognóstico de que a gestão da demanda e a alocação eficiente de recursos serão pontos chaves da economia do transporte público, se tornando cada vez mais relevantes. O estudo de Estrada *et al.* (2021) afirma que os tomadores de decisão devem encontrar um ponto de equilíbrio entre o desempenho da rota e o custo, considerando as restrições econômicas, sociais e políticas. Outro trabalho que leva em consideração as características do usuário é desenvolvido por Manser *et al.* (2020) que aborda o problema de rede de transporte público considerando a dinâmica da demanda através de simulação baseada em agentes.

Por fim, Ranjbari *et al.* (2020) afirmam que a crescente demanda por serviços intermunicipais de ônibus intensifica a necessidade de um projeto de rede eficiente e um cronograma de serviços para fornecer um transporte público competitivo na prestação do serviço para os viajantes e minimizar os custos das operadoras.

Os trabalhos analisados apresentam objetivos específicos diferentes, mas com a finalidade de construir uma rede que atenda aos desejos de deslocamentos do usuários e conectar as diversas atividades da região. Os estudos também apontam as peculiaridades do transporte público em regiões diferentes, o que demonstra a necessidade de utilização de fatores externos (uso do solo, dados socioeconômicos, costumes, cultura,...) para a construção de uma rede de transporte público adequada para atendimento da população.

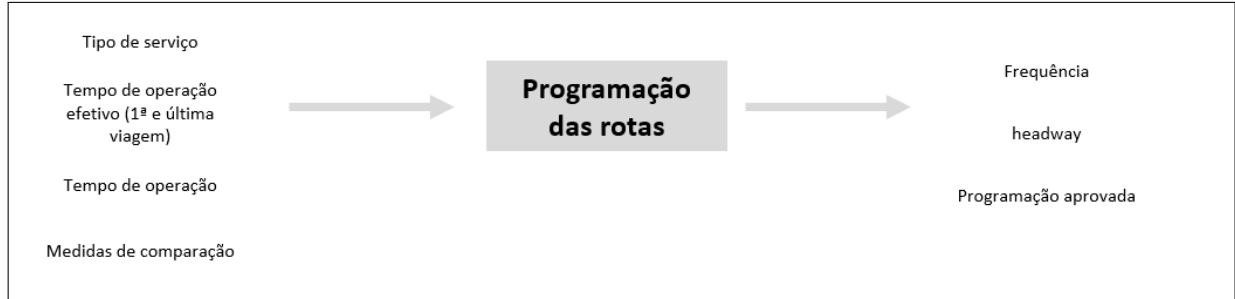
2.2.2 Programação das rotas

Esta etapa é relativa à operação do serviço transporte público, sendo necessário estabelecer o padrão do serviço ofertado, o horário de operação da primeira e última viagem, o tempo de viagem de cada rota ao longo do dia, o tipo de serviço (convencional, troncal, alimentador, expresso,...), frequência mínima para diferentes intervalos (pico, fora pico e madrugada), além do padrão de acordo com o dia (dia úteis, sábado, domingo, feriado,...). Obtidos estes dados, é possível realizar uma análise de frequência e *headway* (intervalos regulares entre os horários ofertados) para elaborar a tabela de horária das rotas. A obtenção da tabela horária das rotas demonstra o perfil do serviço a ser ofertado, tendo as características de operação de cada rota ao longo do dia.

Com a tabela horária, é necessário realizar a programação de acordo com os veículos, de maneira a atender a demanda de cada rota considerando a capacidade e o nível de serviço ofertado. A Figura 3 mostra os principais dados de entrada (tipo de serviço, tempo de operação

efetivo, tempo de operação, medidas de comparação) para se obter a frequência, o *headway* e a programação das rotas.

Figura 3 – Fluxo da etapa de programação das rotas do transporte público



Fonte: Elaborado pelo autor(2023).

No estudo de Gkiotsalitis (2020), os autores procuram dividir em etapas diferentes algumas variáveis, enquanto o número de viagens diárias que operará em uma linha de ônibus é determinado na fase de programação horária da rota, o tempo de expedição de cada viagem é determinado na fase da programação horária dos veículos, que será apresentada na próxima seção.

Mo *et al.* (2020) estudam a otimização da programação horária das rotas com foco no reagendamento das frequências para atender as demandas reais de viagem, o que deverá gerar uma economia significativa de custos. Gkiotsalitis e Cats (2021a) procuram analisar a capacidade limitada, devido as medidas de distanciamento social relacionadas a COVID-19, fato que irá requerer a realocação de recursos no transporte público de modo a atender de forma mais eficiente e eficaz os padrões de demanda predominantes, mantendo a funcionalidade do serviço.

Os trabalhos publicados relacionados a programação horária das rotas tem como finalidade otimizar a operação do transporte público seja através da maximização do número total de passageiros ou minimização da lotação das estações, de maneira a ter uma programação que seja eficiente para atendimento da população.

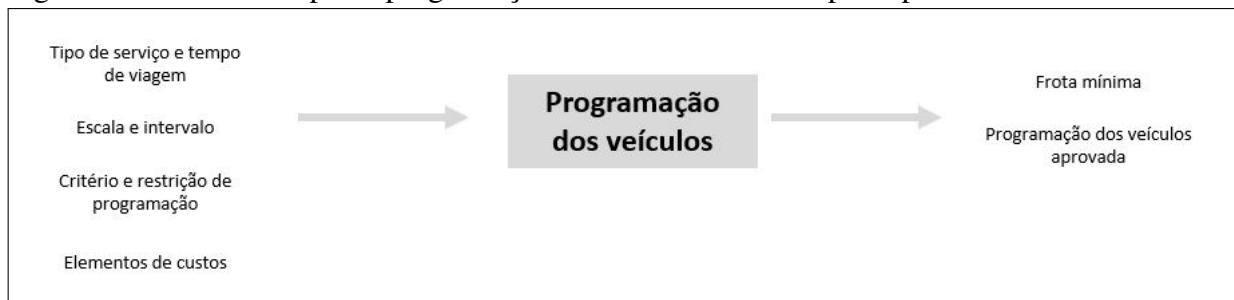
2.2.3 Programação dos veículos

A programação horária dos veículos é obtida com base no tipo de serviço, frequência para determinar a capacidade do veículo, considerando tempo de viagem, escala e tempo de recuperação, critérios e restrições da programação e elementos de custos.

A Figura 4 mostra os principais dados de entrada (tipo de serviço, tempo de viagem, escala e intervalo, restrições de programação e custos) para se obter a frota mínima e a

programação dos veículos.

Figura 4 – Fluxo da etapa de programação dos veículos do transporte público



Fonte: Elaborado pelo autor(2023).

Rinaldi *et al.* (2020) citam estudos de programação horária de veículos com objetivos diferentes, desde a minimização dos custos operacionais, otimização do tamanho da frota até redução de atrasos. Além disso, afirmam que a introdução de ônibus totalmente elétricos poderá levar a uma economia considerável em termos de custos operacionais, mas alerta para dependência à fatores externos, como por exemplo, o preço da eletricidade.

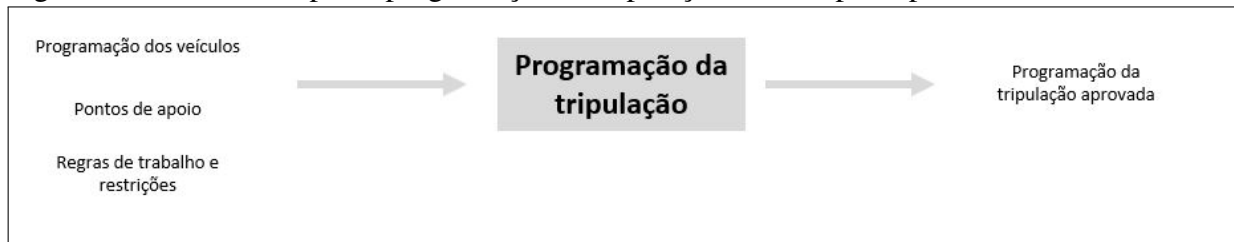
Essa etapa tem forte relação com a programação horária das rotas, tanto que alguns estudos analisam as duas etapas de maneira integrada. Logo, os trabalhos de programação horária dos veículos também buscam otimizar a operação do transporte público. Estudos mais recentes (Wu *et al.* (2022), Zhang *et al.* (2022) e Xiong *et al.* (2022)) começam a analisar como será o processo de programação dos veículos elétricos, aspectos relacionados as semelhanças e vantagens e desvantagens quando comparado aos veículos que utilizam combustível.

2.2.4 Programação da tripulação

A definição da equipe de trabalho para operação do transporte público é uma etapa bem específica para as particularidades da região, devido a ser estruturada de acordo com a legislação trabalhista da localidade. Os principais aspectos que são levados em consideração referentes a normas trabalhistas são: duração do serviço, períodos de descanso, tempo de condução consecutivo e horas extras limitadas.

A Figura 5 mostra os principais dados de entrada (programação dos veículos, pontos de apoio, regras de trabalho e restrições) para se obter a programação da tripulação.

Figura 5 – Fluxo da etapa de programação da tripulação do transporte público



Fonte: Elaborado pelo autor(2023).

Prata *et al.* (2011) desenvolveram uma abordagem multiobjetivo, baseada em meta-heurísticas, para a otimização integrada da programação de veículos e tripulações em sistemas de transporte público. O autor verificou que o método adotado obteve soluções de melhor qualidade em relação a outras abordagens utilizadas na prática.

Já Heil *et al.* (2020) apresentam que melhorar a eficiência da programação da tripulação pode ser realizada por diferentes métricas, como minimizar o custo total, minimizar o número de tripulações, minimizar tempos ociosos ou uma combinação.

No estudo desenvolvido por Neufeld *et al.* (2021), foi pesquisada a programação da tripulação com taxas de atendimento de trens na Alemanha. Os autores propõem uma nova abordagem com a incorporação de aspectos de sistemas reais. Os autores afirmam que a programação da tripulação tem influência substancial nos custos totais da operação.

Andrade-Michel *et al.* (2021) abordam particularidades da tripulação ao afirmarem que o número de motoristas disponíveis varia de dia para dia devido a contratos de curto prazo, baixa remuneração, além de questões culturais. O impacto da ausência dos motoristas é a não realização de muitas viagens, o que causa maior tempo de espera para os usuários.

A etapa de programação horária da tripulação é relevante para o processo de planejamento do transporte público, tendo em vista que a mão de obra representa uma parcela significativa do custo do setor. Apesar disso, a minimização do custo referente a tripulação poderá ser alterada com uma configuração de rede eficiente, obtida com uma análise dos elementos que compõem as etapas anteriores, desde questões relacionadas ao perfil da população até aspectos da programação das rotas e veículos.

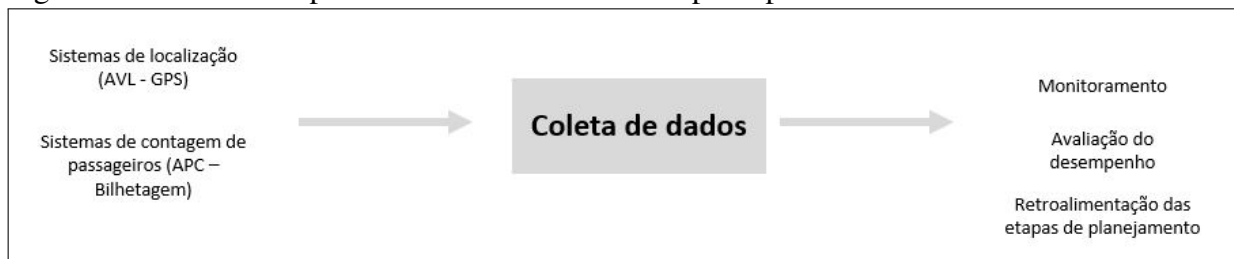
2.3 Coleta de dados

O transporte público é um sistema que atende diversas atividades e desejos de deslocamentos dos cidadãos, sendo o sistema de transporte composto de subsistemas, que coletam quantidade massiva de dados. A coleta de dados é um dos principais elementos para

pesquisas realizadas no setor. Os dados podem ser obtidos através de pesquisas, de tecnologias embarcadas (*Automatic Vehicle Location* (AVL) - *Global Positioning System* (GPS) e *Automatic Passenger Counters* (APC) - SBE) que obtém os dados em tempo real ou de sistemas de *mobility as a service* via aplicativos.

A operação do transporte público gera uma quantidade de dados com potencial de fornecer informações do setor, e assim, proporcionar um melhor diagnóstico e implementar medidas de melhorias com ajustes nas etapas de planejamento (retroalimentação). A Figura 6 mostra os principais dados de entrada, sistemas de AVL e APC, para se realizar monitoramento e avaliação do transporte público, além de serem elementos para retroalimentar as etapas anteriores do processo de planejamento de transporte público.

Figura 6 – Fluxo da etapa de coleta de dados do transporte público



Fonte: Elaborado pelo autor(2023).

Tang *et al.* (2020b) abordam que desenvolver um plano de programação horária baseado em métodos orientados por dados é uma estratégia eficaz para melhorar a qualidade dos serviços no transporte público e melhorar a eficiência operacional das empresas de transporte público. Já Tang *et al.* (2020a) afirmam que entender os fatores que conduzem o comportamento dos usuários do transporte público são elementos básicos para planejar e operar o serviço de transporte.

Lee e Nair (2021) consideram que ao realizar uma caracterização mais detalhada da demanda ocasionará impacto no planejamento da oferta e nos modelos operacionais do serviço de transporte público. Os autores demonstram o potencial da utilização dos dados obtidos dos STPP. Por fim, Hörcher e Tirachini (2021) apresentam outra finalidade dos dados coletados do transporte público que é a facilidade de calibração dos modelos baseados em agentes. Além disso, citam que a crescente disponibilidade de fluxo de dados devido a massificação de tecnologia da informação.

2.4 Conclusão

O capítulo aborda as principais etapas para realização do processo de planejamento operacional do STPP com destaque para os elementos necessários para execução de cada etapa. A separação por etapas contribui para uma melhor compreensão de qual etapa pretende se analisar e com quais outras etapas tem relação direta.

A complexidade do processo de planejamento da operação do transporte público pode ser vista pela quantidade de etapas e fatores que influenciam o planejamento. Com a implantação do planejamento, é iniciada a operação do transporte público onde é possível avaliar o quanto o planejamento foi cumprido. Assim, com os dados disponíveis da operação, uma equipe capacitada e ferramentas adequadas para realizar a análise é possível realizar melhorias nas etapas de planejamento, e conseqüentemente, na operação do serviço.

O transporte público é dinâmico, devido às mudanças que ocorrem na região (uso do solo, socioeconômicas,...), além do comportamento dos usuários, elementos que afetam a prestação do serviço de transporte público. Logo, a necessidade do contínuo processo de monitoramento e avaliação da operação para realização dos ajustes que se façam necessários.

Com a obtenção de dados fornecidos pelas novas tecnologias sobre as várias etapas da operação (desde a concepção da rede até à operação efetivamente realizada) poderão ser realizados estudos que avaliem e comparem operações em diferentes momentos.

Portanto, a pesquisa na área de operação do transporte público torna-se pertinente devido a complexidade do STPP, a constante mudanças que são necessárias para atender a população e a importância do transporte público para a cidade ou região de influência, principalmente, no deslocamento da população que não tem outro meio de deslocamento para realização de atividades (trabalho, lazer,...) e acesso a serviços (educação, saúde,...).

3 DESEMPENHO OPERACIONAL DO TRANSPORTE PÚBLICO

O presente capítulo apresenta uma análise sobre o desempenho operacional no transporte público. Conforme Kittelson *et al.* (2003b), medidas de desempenho são usadas por agências de transporte público por três principais razões: por ser necessário realizar a medição, por ser útil para a agência e para a comunidade saber o que está acontecendo no setor. A agência utiliza medidas de desempenho para ajudar a fornecer serviço tão eficiente quanto possível, além de monitorar se os objetivos da agência e comunidade são atendidos, e com o tempo, melhorar a prestação do serviço e atrair mais passageiros. Os órgãos tomadores de decisão precisam ter acesso a informações confiáveis para ajudá-los a tomar decisões sobre onde e quando o serviço deve ser prestado, além de apoiar as atividades para melhorar o desempenho. Os usuários também estão interessados em saber a qualidade do serviço prestado.

Os principais usos de sistemas de medidas de desempenho, segundo Kittelson *et al.* (2003b), incluem: o monitoramento do serviço; a avaliação do desempenho econômico; o gerenciamento; a comunicação interna; a comunicação de metas e desafios; e benefícios para a comunidade. As medidas de desempenho são utilizadas porque podem fornecer perspectiva, entendimento e contexto para o que aconteceu e o que está sendo feito dentro do serviço de transporte público.

A primeira seção apresenta a importância de medir o desempenho da operação no serviço de transporte público, com pesquisas realizadas recentemente a respeito do assunto, abordando pontos apresentados na literatura acadêmica e em publicações técnicas. Na segunda seção, são descritos os pontos de vistas que podem ser utilizados para a análise de desempenho, ou seja, a análise depende do destinatário, do objetivo que afetará a escolha das variáveis, indicadores e o modo de se realizar a análise de desempenho do serviço de transporte público. A terceira seção aborda as etapas para desenvolver um programa de medidas de desempenho do serviço. Na quarta seção, são apresentadas etapas da análise de desempenho, com a classificação das medidas em categorias, os dados necessários para aplicação. Na quinta seção, são descritos os métodos de análise de desempenho disponíveis para aplicação. Por fim, é apresentada a conclusão do capítulo.

3.1 Importância do desempenho operacional do transporte público

É importante que os operadores de transporte e os gestores saibam se a prestação do serviço de transporte público está se tornando eficiente. No nível organizacional, espera-se que a melhoria da eficiência leve a maior satisfação do usuário e racionalidade do serviço. Essas características aumentam a competitividade e a viabilidade econômica. No nível da empresa de transporte público, empresas eficientes tornam os sistemas de transporte público mais flexíveis e robustos, que são essenciais para melhoria da qualidade de vida da população.

Um dos grandes desafios do setor de transporte público é tornar acessível a população que não tem condições de realizar deslocamento por outro modo de transporte, e uma das formas de minimizar esse problema é através da redução de custos e uma melhor prestação do serviço que pode ser obtida com o apoio de um sistema de medição de desempenho da operação. Gleason e Barnum (1982) já afirmavam que naquela época iniciava um período de pagamento de subsídio com base no desempenho e sendo mais de 50% da receita de transporte público, logo a medição de desempenho é um processo importante para o setor. A inexistência de um sistema permanente de monitoramento e controle de desempenho das empresas operadoras, por parte do poder concedente, tende, em geral, a fazer com que estas também não dediquem grande esforço na avaliação de seu próprio desempenho. Faltam, sobretudo, índices que meçam o grau de eficiência e que sirvam de instrumento para tomadas de decisão e controle gerencial. Ademais, como fator agravante desta situação, o sistema de cálculo tarifário no Brasil preconizado pelo Grupo Executivo para a Integração da Política de Transportes (GEIPOT) permite que os efeitos da ineficiência sejam, em grande parte, transferidos para a tarifa paga pelos usuários, o que funciona como desestímulo à modernização do sistema como um todo (FENSTERSEIFER, 1986).

Conforme Barnum *et al.* (2007), se o transporte público não é tão eficiente quanto poderia ser, então ofertará menos serviço do que o desejável ou custará mais caro e os usuários terão que pagar mais do que o necessário. Barnum *et al.* (2011) afirmam que a eficiência tem sido um elemento importante nas decisões políticas e operacionais dos sistemas de transporte urbano, e a eficiência do transporte público recentemente se tornou ainda mais relevante.

Eboli e Mazzulla (2012) citam que a medição do desempenho do transporte público é uma ferramenta muito útil para garantir o aumento contínuo da qualidade do serviço ofertado e para alocar recursos entre operadores concorrentes. O objetivo do trabalho foi a avaliação da qualidade do serviço do transporte público baseada em medidas objetivas. Além disso, afirmam que medidas de desempenho são ferramentas essenciais para agências de transportes atingirem

suas metas estratégicas, como por exemplo, melhoria contínua do serviço ofertado. As medidas de desempenho são o principal meio de avaliar o sucesso de uma agência no cumprimento dos seus objetivos, tendo em vista que o propósito das medidas de desempenho é para diagnosticar a situação atual em termos de e para onde deseja chegar. Além disso, devem incentivar o contratante a operar de maneira a melhorar o desempenho, enquanto limita ou penaliza o contratante por resultados negativos.

Conforme Eboli e Mazzulla (2012), a medição de desempenho é muito útil para diferentes objetivos: auxiliar na avaliação do desempenho geral do serviço, avaliar as expectativas de desempenho da gestão do serviço em relação aos objetivos da comunidade, avaliar o desempenho da gestão e diagnosticar problemas como custo desproporcional em relação ao serviço, alocar recursos entre operadores, fornecendo um sistema de controle de gestão para monitorar e melhorar o serviço, facilitando a responsabilização buscada por agências de financiamento do governo e exigida por legisladores e público em geral.

Muitas vezes é difícil isolar efeitos relacionados diretamente com o transporte público e as mudanças na qualidade do serviço e no número de passageiros, devido aos efeitos ocasionados por fatores externos (dados demográficos, variáveis ambientais e questões econômicas). Além disso, a perspectiva da análise de desempenho é um dos primeiros passos que se deve realizar para ser adequada com o objetivo pretendido e na escolha das variáveis.

3.2 Ponto de vista da análise de desempenho

Eboli e Mazzulla (2012) citam que há uma variedade de medidas de desempenho desenvolvidas para descrever diferentes aspectos do serviço de transporte público. Os autores afirmam que as medidas podem se referir ao ponto de vista da comunidade (impacto e o papel de cumprimento dos objetivos), agência (eficiência e efetividade do serviço) e passageiro (percepção do passageiro e qualidade do serviço).

Quanto aos benefícios do transporte público para a sociedade, pode-se destacar os seguintes aspectos:

- Fornecimento de transporte para pessoas sem acesso a outros modos;
- Redução da poluição do ar;
- Redução de congestionamento em trânsito;
- Acessibilidade ao trabalho para aqueles que são desfavorecidos economicamente.

Além dos aspectos positivos citados, o transporte público tem aspectos negativos

para o meio, dentre eles: o ruído alto e fumaça dos veículos, a ineficiência do transporte público, a destinação de parte do valor dos impostos para o transporte público (devido os recursos serem limitados).

Quanto à perspectiva do poder público/agência de transporte, a agência deve operar eficientemente e efetivamente. Logo, deve-se analisar diversos aspectos do serviço de transporte público, dentre eles: custo/viabilidade financeira, investimentos, eficiência operacional, capacidade de atendimento a demanda, atratividade, externalidades, flexibilidade para adequação da demanda. Dalton *et al.* (2001) realizou pesquisa mais sob o ponto de vista da agência. Segundo o autor, as medidas de resultados são preferidas porque relacionam diretamente os objetivos estratégicos da agência com os resultados das atividades realizadas para alcançá-los.

O desempenho percebido no serviço de transporte público do ponto de vista do passageiro pode ser definido como qualidade do serviço (KITTELSON *et al.*, 2003a). Da perspectiva do passageiro, de acordo com os autores há duas áreas de maior interesse dos passageiros: disponibilidade do serviço e conforto e conveniência do serviço quando disponível. Em relação a disponibilidade do serviço, pode-se categorizar em quatro tipos:

- Espacial: Onde o serviço é ofertado?
- Temporal: Quando o serviço é ofertado?
- Informação: O usuário sabe como usar o serviço?
- Capacidade: Há espaço para o usuário para realizar a viagem desejada?

Já quanto ao conforto e conveniência, pode-se analisar os seguintes pontos:

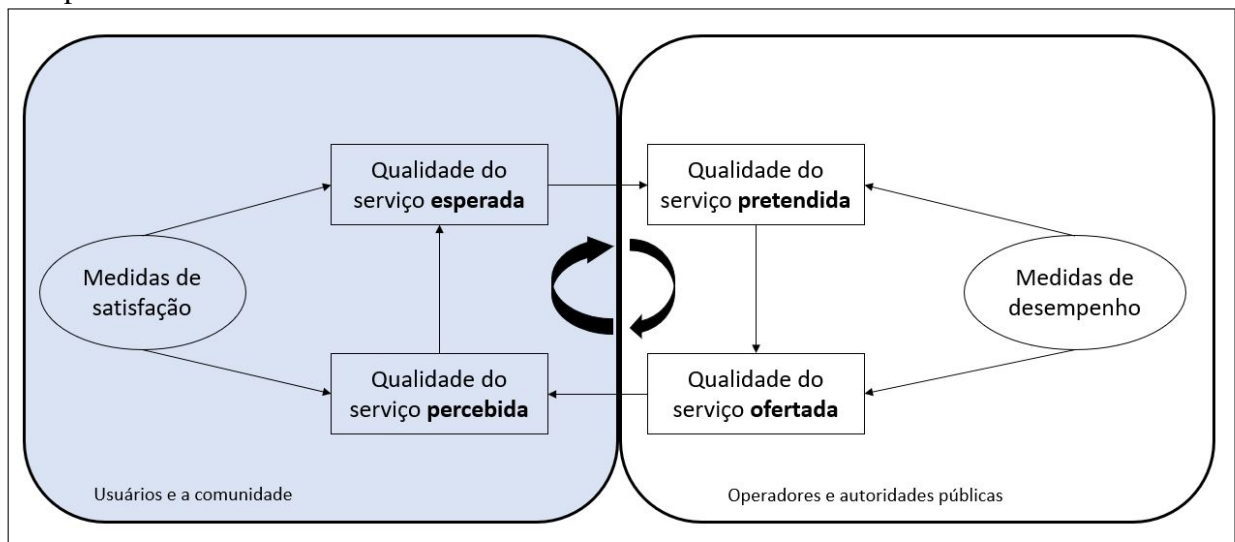
- Oferta do serviço: Confiabilidade do serviço, experiência do usuário na utilização do serviço;
- Tempo de viagem: Quanto tempo leva para fazer a viagem por transporte público?
- Segurança: Risco de se ferir e/ou de se tornar vítima de um crime;
- Manutenção: Quebra de veículos, limpeza dos veículos,...

A forma de categorizar varia entre as pesquisas realizadas, mas buscam analisar os mesmos aspectos de disponibilidade dos serviços de transporte público, acessibilidade/cobertura espacial da rede, confiabilidade e pontualidade da prestação do serviço, segurança, velocidade ou tempo de viagem, custo (modicidade tarifária), conveniência, dentre outros.

A norma europeia (CEN/TC320, 2002) relaciona as diferentes perspectivas para compreensão de visões distintas de qualidade do serviço. Da perspectiva do usuário e comunidade, tem-se medidas de satisfação que podem ser avaliadas pela qualidade de serviço esperada

e percebida. Já pelo ponto de vista dos operadores e gestores, são obtidas as medidas de desempenho através da qualidade do serviço pretendida (obtida pela definição das metas do serviço prestado) e ofertada (nível de qualidade alcançado no dia a dia da operação do serviço). A Figura 7 apresenta um ciclo da qualidade do serviço ilustrada pela normatização europeia (CEN/TC320, 2002), com a qualidade de serviço pretendida pelos gestores é obtida a qualidade do serviço que realmente é ofertada pelos operadores. Tendo o serviço ofertado, o usuário e a população tem uma qualidade de serviço percebida, e assim, comparar com a qualidade do serviço esperada.

Figura 7 – Relacionamento entre as quatro visões distintas da qualidade do serviço - Norma europeia



Fonte: Elaborado pelo autor(2023).Adaptado CEN/TC320 (2002)

Zak (2011) destaca que existem diversos interessados nas operações eficientes, confortáveis e eficazes dos sistemas de transporte público; como consequência, observa-se um conflito de interesses. Enquanto os passageiros insistem em serviços de transporte de alto nível, os operadores estão focados em operações econômicas, assim como as autoridades desempenham um papel de fornecer um serviço adequado. O autor propôs a aplicação da metodologia de múltiplos critérios de tomada de decisão/auxílio para análise de transporte público. Esta metodologia permite ao decisor ter em conta vários pontos de vista contraditórios e garante que a solução mais satisfatória e de compromisso seja finalmente selecionada.

Portanto, a análise de desempenho da operação do serviço de transporte público deve ser iniciado com a discussão sobre a perspectiva que se deseja avaliar o serviço.

3.3 Etapas do processo de medida de desempenho

Conforme Bartman *et al.* (2011) um plano de transporte só é eficaz se o desempenho for medido para determinar se o plano funcionou. Um sistema de medição de desempenho pode ser estruturado de inúmeras maneiras para se adequar a uma comunidade. Para que um processo de medida de desempenho seja eficaz, é necessário ter algumas características tais como aceitação das partes interessadas, ligação com objetivos, clareza e flexibilidade. O objetivo do monitoramento de desempenho é identificar ineficiências, e assim identificar melhorias para alcançar um nível adequado do sistema. Semelhante a outros processos investigados, a medição de desempenho tem um papel significativo em uma estrutura de avaliação ou tomada de decisão.

Kittelsohn *et al.* (2003b) definem em oito etapas o processo de medidas de desempenho:

- i Definir objetivos e metas;
- ii Suporte gerencial;
- iii Identificar usuários, partes interessadas e restrições;
- iv Selecionar medidas de desempenho e desenvolver consenso;
- v Testar e implementar o programa;
- vi Monitorar e relatar o desempenho;
- vii Integrar resultados na tomada de decisão da agência;
- viii Revisar e atualizar o programa.

A análise de desempenho requer um conjunto de etapas para se ter êxito na execução e no objetivo pretendido da necessidade de realização da análise.

Um dos primeiros pontos é a aceitação das partes interessadas devido ao risco de não se obter sucesso por não contar com a participação dos atores envolvidos. Como citado na seção anterior, o transporte público tem alguns atores envolvidos e o não envolvimento de tomadores de decisão, sejam os gestores ou operadores, pode prejudicar a implementação de medidas após realizada a análise de desempenho do serviço.

O programa de medidas de desempenho deve ter relação com os objetivos da agência e da sociedade, de maneira a ser uma etapa para alcançar objetivos macros de outros setores da área em estudo. Além disso, deve ser claro para que os interessados e a sociedade consigam entender como e porque uma específica medida de desempenho é relevante e significativa para o sucesso da prestação do serviço. Logo, medidas baseadas em fórmulas complexas ou dados que não podem ser facilmente explicados, muitas vezes será recebido com confusão e perplexidade

ao invés de aceitação.

A confiabilidade dos resultados das medidas de desempenho depende diretamente da qualidade dos dados usados para calcular as medidas e isso afeta a credibilidade de quem é o responsável pelo programa de medidas de desempenho. Portanto, a coleta e o armazenamento dos dados do serviço de transporte público são fundamentais para o sucesso do programa. As agências de transportes devem ter medidas de governança e propriedade dos dados, políticas de melhoria da qualidade dos dados, sistema de armazenamento adequado.

Outros pontos que devem ser levados em consideração no programa de medidas de desempenho são: a variedade e o número de medidas, o nível de detalhe, a flexibilidade, o realismo dos objetivos e metas, além da oportunidade de se realizar a medição.

Kittelson *et al.* (2003b) definiram seis métodos principais que as agências usam para desenvolver padrões para medidas de desempenho, descritos a seguir:

- i Um primeiro método é a comparação com a média anual. O valor médio para cada medida é determinado anualmente, e as rotas de ônibus que se enquadram nos grupos mais baixos (e às vezes mais altos) para cada medida (por exemplo, 10º percentil mais baixo, 25º percentil mais baixo) são identificadas para análise e identificação de possíveis problemas;
- ii O segundo método é uma variação do método descrito acima e envolve a comparação com uma linha de base. Nesse caso, o valor de cada medida é comparado com o valor médio da medida no primeiro ano em que o sistema de medição de desempenho foi implementado. As medidas abaixo de uma certa porcentagem do valor da linha de base são direcionadas para análise mais detalhada;
- iii Outra opção é uma análise de tendências ou definir o padrão com base no valor da medida de desempenho do ano anterior. Nesse caso, o padrão seria expresso como melhoria em relação ao ano anterior (geralmente em porcentagem). Medidas que apresentem piora do desempenho, em relação ao ano anterior, seriam alvo de ações adicionais;
- iv Um método que permite que as questões do usuário e da comunidade sejam consideradas é a auto-identificação dos valores padrão. Sob esse método, o gerenciamento da agência de transporte define metas com base em uma combinação do desempenho atual da agência, julgamento profissional e metas da agência;
- v No penúltimo método, a agência pesquisa outras agências representativas ou encontra exemplos de padrões na literatura de transporte público e aplica um padrão médio ou típico às suas próprias operações;

- vi Por fim, uma agência identifica outras agências com condições semelhantes (por exemplo, porte da cidades, níveis de tarifas, valores de custo de vida ou outros critérios semelhantes) e determina o desempenho dessas agências nas categorias de medição. Os padrões são baseados nos valores médios das agências pares para determinadas medidas ou, alternativamente, em algum valor percentual.

Portanto, há algumas maneiras de se avaliar a medição de desempenho do sistema de transporte público de passageiros. Após a definição do objetivo e a perspectiva de que se irá avaliar, a estruturação com as etapas do processo de medidas de desempenho deve ser realizado para tornar o processo claro e transparente, permitindo a contribuição e avaliação dos tomadores de decisão.

3.4 Análise de desempenho em sistemas de transporte público

A presente seção apresenta tópicos necessários para a análise de desempenho no sistema de transporte público de passageiros. Devido a complexidade e a grande quantidade de indicadores no transporte público, é realizado o agrupamento dos indicadores por categorias de acordo com estudos técnicos e publicações científicas.

O monitoramento do serviço de transporte público pode ser dividido em dois tipos: fiscalização; e planejamento e gestão. O monitoramento de fiscalização visa fazer cumprir as exigências legais e contratuais, aplicar sanções e medir o desempenho para avaliar o serviço prestado pelos contratados. Já o monitoramento de planejamento e gestão visam aspectos mais amplos, como o acompanhamento da oferta e da demanda, da arrecadação tarifária, o acesso e a infraestrutura do sistema, elementos que são importantes para melhoria contínua do serviço de transporte público.

Carter e LoMAx (1992) classificam as medidas em seis categorias de indicadores: eficiência de custos (custo por quilômetro, custo por hora); custo-benefício (custo por passageiro, número de passageiros por despesa); utilização/eficácia do serviço (passageiros por quilômetro, passageiros por hora); utilização/eficiência do veículo (quilômetros por veículo); qualidade do serviço (velocidade média, veículo-quilômetro entre acidentes); produtividade do trabalho (viagens de passageiros por funcionário, veículo-quilômetro por funcionário).

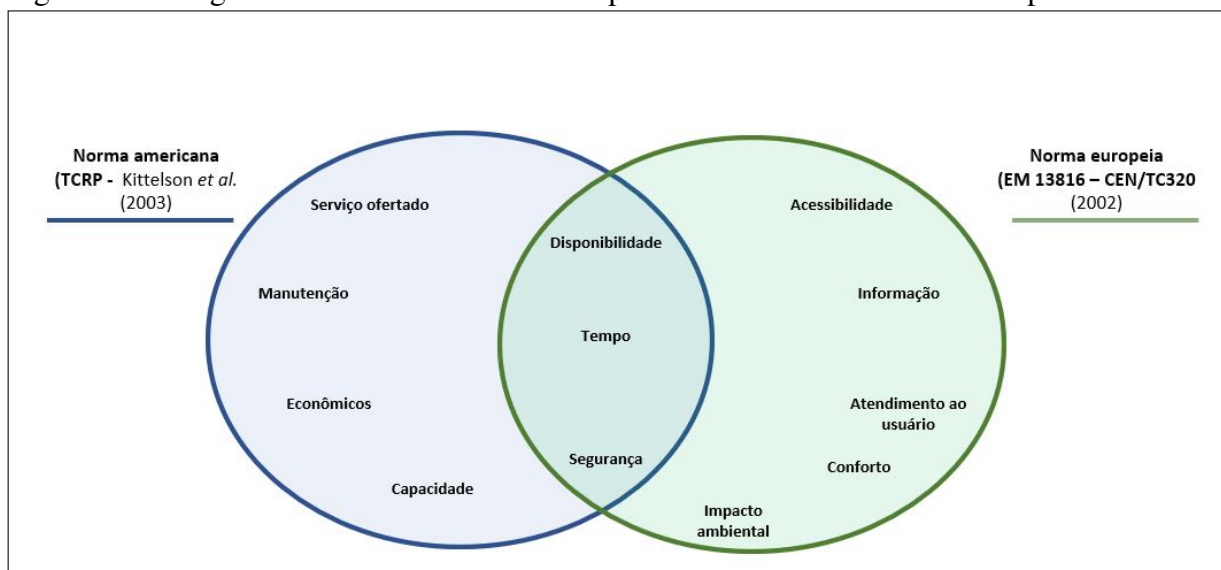
Já Meyer (2001) classifica os indicadores de desempenho em três categorias mais abrangentes. Uma primeira categoria é representada por indicadores gerais de desempenho, como população, passageiros, quilômetros e horas de veículos e assim por diante. A segunda categoria

é representada pelas medidas de efetividade incluindo as seguintes subcategorias: prestação de serviços (passageiros per capita, passageiros por hora); qualidade do serviço (velocidade média, *headway* médio, número de incidentes); disponibilidade (período de serviço durante a semana, quilômetros de rota por quilômetro quadrado). A terceira categoria inclui medidas de eficiência divididas em: eficiência de custos (despesas operacionais por passageiro, despesas operacionais por hora de receita); índices operacionais (receita local por despesas operacionais); utilização do veículo (veículo-quilômetro por veículo de pico, horas de veículo por veículo de pico); produtividade do trabalho (passageiros por funcionário); uso de energia (veículo-quilômetro por kW-h); tarifa.

Também Vuchic (2007) propõe uma classificação bastante abrangente dos indicadores de desempenho: quantidade ou volume de transporte (número de veículos ou tamanho da frota, capacidade da frota, número de linhas e comprimento da rede, número anual de passageiros); desempenho do sistema e da rede (intensidade do serviço de rede, velocidade média em um sistema de transporte público); trabalho e produtividade de transporte (veículo-quilômetro anual, espaço-quilômetro anual, passageiro-quilômetro anual); indicadores de eficiência do sistema de transporte público (veículo-quilômetro/veículo/ano, passageiros/veículo-quilômetro, passageiros diários/funcionário, veículo-quilômetro/quilowatt-hora); índices de consumo e indicadores de utilização (custo operacional/passageiro, custo operacional/veículo-quilômetro, veículos programados/tamanho da frota).

Em relação às referências técnicas, a Figura 8 apresenta as categorias de indicadores de desempenho abordadas em normativos técnicos concebidos por órgãos especializados que são referências no setor e responsáveis por publicações técnicas que normatizam o mercado americano e europeu.

Figura 8 – Categorias de indicadores de desempenho - Norma americana e europeia



Fonte: Elaborado pelo autor(2023).

A norma europeia classifica as 8 categorias em 3 grupos: aspectos gerais (disponibilidade e acessibilidade); aspectos mais detalhados da qualidade do serviço (informações, tempo, atendimento ao cliente, conforto e segurança); e impacto ambiental na comunidade. A norma americana classifica também em 8 categorias: disponibilidade, serviço ofertado, comunidade, tempo, segurança, manutenção, econômicos e capacidade.

As duas normas tem as categorias de disponibilidade, tempo e segurança, dando uma sinalização que estas já tem uma padronização independente da região estudada. As demais categorias são agrupadas de maneira diferente, apesar de terem alguns indicadores iguais. Tal fato, pode ser justificado devido a norma europeia ter como perspectiva o usuário (como citado na própria publicação), já a americana não faz referência à perspectiva abordada, mas pelas categorias e a abordagem da publicação deixa evidências que trata-se de uma categorização geral.

A Tabela 1 apresenta uma nova proposta de 8 categorias e respectivos indicadores, tendo como base os dois normativos técnicos. A partir das informações dispostas na Tabela 1, é possível categorizar os indicadores obtidos de uma pesquisa, por exemplo, de forma padronizada e, assim, facilmente comparar diferentes pesquisas e avaliar as semelhanças e divergências.

Com base na Tabela 1, foi realizada uma revisão das publicações científicas que utilizaram medidas de desempenho no transporte público e classificado os indicadores utilizados, no período de 2000 à 2022. Para a construção da Tabela 2, que inclui unicamente publicações entre 2020 e 2022, foram feitas correspondência das categorias aos indicadores utilizados, tendo

Tabela 1 – Classificação dos indicadores de desempenho por categoria

Código	Categoria	Indicadores
1	Acessibilidade e disponibilidade	Frequência, acessibilidade, proximidade, cobertura da rota/rede, distância de caminhada, tempo de operação do serviço e disponibilidade
2	Tempo	Tempo de viagem, pontualidade, tempo de espera, velocidade, confiabilidade, tempo de viagem dentro do veículo, tempo de transferência, regularidade, tempo de espera e atraso
3	Segurança	Percentual de acidentes, segurança dentro do veículo, sistema de câmeras, segurança nos pontos de parada, % de veículos que excedem a velocidade permitida, quantidade de veículos queimados
4	Informações e atendimento ao usuário	Informação, atendimento ao usuário, disponibilidade da informação, informação dentro do veículo, disponibilidade da programação horária, informação nos pontos de parada e avisos claros e simples dentro do veículo
5	Serviço ofertado, Conforto e Capacidade	Limpeza, conforto, temperatura, funcionários, <i>headway</i> , cortesia, disponibilidade de assentos, comportamento do motorista, aglomeração, sistema de bilhetagem, espaço e capacidade
6	Econômicos	Tarifa, preço do bilhete, custo, custo da viagem, valor do tempo, eficiência, demanda média por veículo, custo por distância, receita por distância, receita por dia, passageiros por ano, efetividade e produtividade
7	Manutenção	Condição dos veículos, infraestrutura, pontos de paradas, manutenção dos assentos, condição estrutural, veículos quebradas, % de veículos com ar, números de defeitos reportados por operador
8	Comunidade e Impacto ambiental	Violência, ruído, assédio feminino, vibração, poluição do ar, veículo ecológico

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

em vista que nos artigos não há uma padronização na forma de categorizá-los, o que dificulta a comparação entre os estudos. A falta de padronização prejudica a comparação com outros sistemas de características similares, além de não permitir que se selecione e defina os indicadores de acordo com o que se quer avaliar do sistema, prejudicando o objetivo da análise. No apêndice A, constam o conjunto total das publicações estudadas entre 2000 e 2019 classificadas nos grupos de categorias de indicadores.

Tabela 2 – Classificação das publicações de acordo com as categorias da Tabela 1

Autores	1	2	3	4	5	6	7	8	Sem categoria	Total
Lan <i>et al.</i> (2022)	3	1	3	2	9	1			9	28
Farazi <i>et al.</i> (2022)	2	1	1	2	4	1		2	5	18
Fu (2022)	2	1	1	2	4	1		2	5	18
Shabani <i>et al.</i> (2022)	2	3	2		6	1		3	4	21
Costa <i>et al.</i> (2022)	2	3	1		3	1		1	3	14
Esmailpour <i>et al.</i> (2022)		3	3	2	5	2			7	22
López <i>et al.</i> (2022)	4	2	1	1	2	1		1	2	14
Wang <i>et al.</i> (2022)	3					1			2	6
Echaniz <i>et al.</i> (2022)	3	4		4	5	2		1	5	24
Oña (2022)	4	2	1	1	2	1		1	2	14
Guzman <i>et al.</i> (2022)	3	2	2		1	1		1	3	13
Sukhov <i>et al.</i> (2022)	1	3	3	4	3	1	1		2	18
Loder <i>et al.</i> (2022)	2	2			1	7	1		3	16
Abdullah <i>et al.</i> (2021)	2	3	1	2	2	1		2	6	19
Duleba e Moslem (2021)	2	2	1	3	2				1	11
Oña <i>et al.</i> (2021)	4	2	1	1	2	1		1	2	14
Irawan <i>et al.</i> (2021)	1	1	1		1	1	1	2	2	10
Tavares <i>et al.</i> (2021)		4	1	1	4			2		12
Cheranchery <i>et al.</i> (2021)	1	5	1	2	5	1	1	1	2	19
Olowosegun <i>et al.</i> (2021)	1	3	1		2	1	1			9
Santos e Lima (2021)	3	2	1	2	6	2		1	5	22
He <i>et al.</i> (2021)	1	1			1				3	6
Ram <i>et al.</i> (2021)	4	3	1	1	4	1				14
Godachevich e Tirachini (2021)	1	1			1	2			2	7
Chauhan <i>et al.</i> (2021)			3	5	2		2	1	12	25
Oña <i>et al.</i> (2021)	4	2	1	1	2	1		1	2	14
Cheranchery e Maitra (2021)	1	5	1	2	5	1	1	1	1	18

Continuação na próxima página

Tabela 2 – Continuação

Autores	1	2	3	4	5	6	7	8	Sem categoria	total
Nguyen-Phuoc <i>et al.</i> (2021)	1	1	3		1				1	7
Oña (2021)	4	2	1	1	2	1		1	2	14
Sukhov <i>et al.</i> (2021)	1	3		3	5			2	5	19
Dawda <i>et al.</i> (2021)	2	1			1	4	1		2	11
Moslem <i>et al.</i> (2020)	2	2	2	3	5				5	19
Almardood e Maghelal (2020)	1	1			2	1			1	6
Calvo-Poyo <i>et al.</i> (2020)	2	1	1		1	1			1	7
Le <i>et al.</i> (2020)	1	4	1	1	3	1			3	14
Olsson <i>et al.</i> (2020)			2	2	2	2			2	10
Liu <i>et al.</i> (2020)	1	4	2		1	1			9	18
Ni <i>et al.</i> (2020)	2	4		4	7	2	1	1	9	30
Allen <i>et al.</i> (2020a)		1	5	6	8			2	6	28
Allen <i>et al.</i> (2020b)		1	1	1	4				1	8
Esmailpour <i>et al.</i> (2020)	3	1	2	1	5				2	14
Mandhani <i>et al.</i> (2020)	4	4	2	6	7			7	9	39
Nikel <i>et al.</i> (2020)	5	4	1	3	6				3	22
Saeidi <i>et al.</i> (2020)		5	4	2	9	1			1	22
Quantidade de artigos	37	41	35	30	43	32	9	22	41	44

As pesquisas realizadas demonstram a diversidade de possibilidade de estudos que podem ser realizados. Dependendo do objetivo, da perspectiva que se deseja analisar e dos dados disponíveis é possível estabelecer um grupo de categorias que contribua com a medição de desempenho do sistema, e assim possa fornecer elementos que permitam a melhoria da prestação do serviço.

A adoção de padronização para os indicadores de desempenho para o STPP é fundamental para que se possa comparar com outros sistemas, tornar o processo transparente e

também realizar melhorias e adaptações a depender das características do sistema ou região a ser aplicado.

Algumas pesquisas já demonstram a necessidade de comparar empresas de transportes, assim como se a prestação do serviço se altera devido a características da região, dos usuários, do sistema institucional e econômico, dentre outras.

De acordo com Fielding *et al.* (1978), a comparação do desempenho entre empresas de transporte, deve considerar os efeitos da geografia e demografia, o efeito da estrutura organizacional e o efeito de condições econômicas e de trabalho. Em outro estudo, Fielding (1987) cita que nem todas as agências usam o mesmo termo de medidas de desempenho. A escolha do indicador ou conjunto de indicadores para medir cada objetivo de desempenho varia e o consenso é um desafio.

Além disso, a escolha pode variar devido aos objetivos da análise realizada, tipo e quantidade de dados disponíveis, ou metodologia empregada. Furth (2000) afirma que há uma necessidade contínua de fornecer um meio sistemático para compilar essas informações e disponibilizá-las à toda a comunidade em um formato utilizável. Além disso, o autor cita que embora muitos indicadores, para avaliar o desempenho econômico no nível de rota, foram propostos e utilizados, não há acordo uniforme entre agências para qualquer conjunto específico de indicadores.

De acordo com Geerlings *et al.* (2006), foi realizada uma revisão de literatura sobre *benchmarking* em transporte público como parte do projeto EQUIP da União Europeia, que examinou 153 relatórios de projetos, publicações e outros documentos relacionados. Esta revisão produziu uma lista de mais de 400 indicadores que foi recomendado para uso em transporte público para medição de desempenho. Além da quantidade de indicadores, a escolha de quais utilizar depende aos objetivos da análise, do tipo e quantidade de dados disponíveis e da metodologia adotada.

El-Geneidy *et al.* (2007) abordam o tema da coleta de dados que não é mais uma restrição no transporte público, devido a ampla implementação dos *Intelligent Transport Systems* (ITS) e das tecnologias do *Advanced Public Transportation Systems* (APTS). Atualmente, uma grande quantidade de dados é fornecida por AVL, que detectam em tempo real o horário de um veículo nos locais e fornecem informações de desvio de horário, e APC, que permitem o controle de embarque e desembarque de passageiros. Vale ressaltar, que apesar do uso de ITS nos principais STPP do mundo, a disponibilização dos dados gerados ainda é uma barreira a ser

superada, seja pelos setores acadêmicos para realização de pesquisas, seja pelo gestores para o monitoramento do serviço prestado.

Eboli e Mazzulla (2012) afirma que alguns problemas no processo de medidas de desempenho estão ligados à definição das normas. Especificamente, para alguns parâmetros, os valores padrão não estão bem definidos ou não estão disponíveis. Os valores padrão não são estabelecidos de acordo com os regulamentos; nestes casos podem ser adotados valores-alvo utilizados pelos principais órgãos de transporte. O autor cita que futuras pesquisas poderiam ser orientadas para a definição de padrões para indicadores para os quais ainda não foi estabelecido um padrão.

Com o conhecimento das categorias de indicadores, é possível selecionar os indicadores de cada categoria de acordo com o objetivo proposto para a análise. Concluído o processo de medida de desempenho, deve-se escolher quais métodos ou ferramentas serão utilizados para executar o processo e obter resultados para realizar a análise. O próximo tópico apresenta os métodos de análise de desempenho.

3.5 Métodos de análise de desempenho

A literatura relacionada a análise de desempenho é vasta e profunda tanto na economia quanto no setor de transportes. Embora seja feito um esforço para fornecer uma introdução abrangente à medição de desempenho, a apresentação é seletiva e se concentra em métodos de análise de fronteira. Particular ênfase será dada ao método DEA no Capítulo 4 e aos conceitos de eficiência relativa, que são cruciais para alcançar os objetivos de pesquisa.

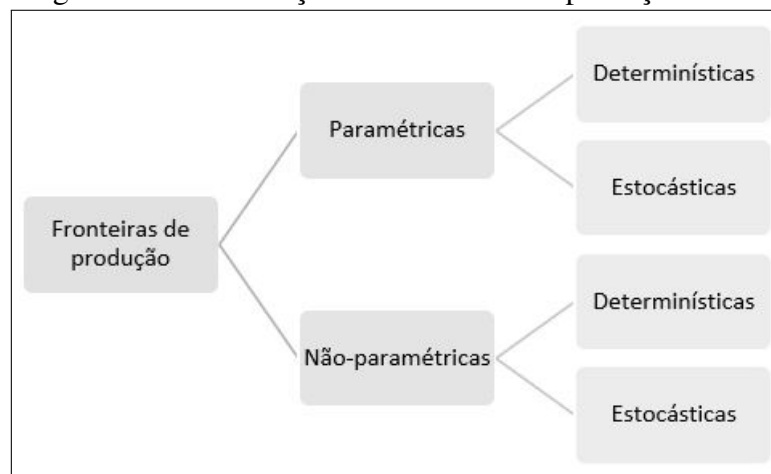
Um dos principais termos utilizados na análise de desempenho é o conceito de eficiência. Na presente pesquisa é utilizado o conceito de eficiência Koopmans (1951), designado frequentemente por eficiência de Pareto-Koopmans, define que uma unidade de produção é tecnicamente eficiente se o aumento de qualquer *output* requer a redução de pelo menos um outro *output* ou o aumento de pelo menos um *input*, ou se a diminuição de qualquer *input* requer o aumento de pelo menos um outro *input* ou a diminuição de pelo menos um *output*. Este conceito evita a atribuição de pesos aos *inputs* e *outputs* das unidades de produção.

A continuação do estudo de Koopmans (1951) foi realizada por Farrell (1957) que permitiu evitar a definição prévia de uma forma funcional rígida para a função de produção. Segundo o autor, a eficiência total pode ser decomposto em duas medidas: eficiência técnica e eficiência alocativa. A eficiência técnica, admitindo uma orientação pelos *inputs*, como a máxima

redução equiproporcional de todos os *inputs* mantendo os *outputs* constantes. Já a eficiência alocativa avalia a *Decision Making Units* (DMU) em relação à utilização das melhores proporções dos factores de produção tendo em conta os respectivos preços. Uma unidade tomadora de decisão (DMU) é o objeto a ser analisado, que pode ser: empresas, fábricas, rotas, países ou outra unidade que se deseja medir o desempenho.

A partir de Farrell (1957), a evolução dos métodos de avaliação de eficiência foi ramificada em duas linhas de pesquisas, que se diferenciam relativamente à forma como a fronteira é especificada e estimada: abordagem paramétrica e não-paramétrica. Os métodos paramétricos têm como característica a definição matemática da forma da fronteira de produção. Já nos métodos não-paramétricos não é necessário especificar a forma da função de produção. Estes métodos têm como vantagens o fato de assumirem poucos pressupostos e serem mais flexíveis. A Figura 9 mostra a ramificação da classificação das fronteiras de produção. Para estimação da fronteira, podem ser usadas técnicas de programação matemática ou estatística.

Figura 9 – Classificação das fronteiras de produção



Fonte: Elaborado pelo autor(2023). Adaptado Camanho (1999).

As fronteiras de produção também podem ser classificadas em determinísticas e estocásticas. A abordagem determinística assume que todos os desvios da produção observada da fronteira estimada são explicados exclusivamente pela ineficiência. Assume-se que não há fatores aleatórios que afetem a construção da fronteira, como ruídos aleatórios ou erros nos dados. Assim, todas as observações devem situar-se na fronteira ou abaixo dela. A estimação de fronteiras determinísticas envolve o uso de técnicas de programação matemática. Já a abordagem estocástica permite ruído aleatório e erro de medição nos dados. Esses fatores podem afetar o desempenho das DMUs e ser responsáveis, juntamente com a ineficiência, pelos desvios

observados da fronteira. Como resultado, as DMUs podem ficar acima ou abaixo da fronteira, devido a ineficiência ou erro aleatório. A abordagem estocástica envolve o uso de técnicas estatísticas.

As formulações paramétricas concebidas por estudos de Aigner e Chu (1968) e Aigner *et al.* (1977). Em Aigner e Chu (1968), os autores desenvolveram uma abordagem paramétrica determinística com a função de Cobb-Douglas. Já em Aigner *et al.* (1977), formularam a fronteira paramétrica estocástica com a especificação da função de produção, com a separação da diferença entre os dados observados e a função em duas componentes: ineficiência e erro aleatório. Para as fronteiras não paramétricas, tem-se Charnes *et al.* (1978) com o método DEA e Deprins e Simar (1984) com o método *Free Disposal Hull* (FDH), como exemplos de determinísticas. Para estocásticas, o estudo de Banker (1993) utiliza de formulações estatísticas com o DEA e Simar e Wilson (1998) formularam o método *bootstrap* para DEA.

Todas as formulações de fronteiras de produção apresentam vantagens e desvantagens, logo a escolha do método a ser utilizado deve considerar os dados disponíveis, o tipo de problema e o domínio do problema pelos pesquisadores ou tomadores de decisão.

A presente tese utiliza o método DEA que é uma abordagem não-paramétrica e determinística, que não assume qualquer pressuposto sobre a forma da função de produção. O fato do DEA ser determinístico requer um conjunto de precauções na escolha de dados e na seleção dos *inputs* e *outputs*, de forma a obter dados confiáveis e que os modelos captem adequadamente o objetivo da produção das unidades. O método DEA tem a vantagem de permitir a utilização de múltiplas variáveis, não ser necessário padronizar as variáveis, não ser necessário a definição dos pesos das variáveis, visto que a eficiência das DMUs é otimizada para os próprios pesos. A eficiência de cada DMU é determinada conforme usa os recursos e produz os resultados tendo os pesos ótimos.

Assim, para avaliar transporte público, quando é necessário trabalhar com múltiplas variáveis, o método DEA torna-se uma ferramenta adequada para medir o desempenho, com vista a contribuir para a gestão do transporte público.

3.6 Conclusão

O presente capítulo apresenta os principais elementos da análise de desempenho do sistema de transporte público de passageiros com destaque para a perspectiva com a qual se deseja realizar a análise, assim como a estruturação do processo de medidas de desempenho e a

própria análise com a categorização e seleção dos indicadores, dados necessários e disponíveis para obtenção dos resultados e método para realização técnica e científica do desempenho do sistema de transporte público.

As publicações citadas ao longo do capítulo realizam a análise de desempenho por rotas, por empresas, por período, mas poucas analisam mais de uma etapa, de maneira a ter um diagnóstico com mais elementos que permitam fornecer com clareza o que poderá ser realizado para melhorar a prestação do serviço.

É possível notar a falta de padronização das variáveis e das etapas utilizadas nos estudos, fato que não permite uma melhor comparação, assim como dificulta a replicação em outros sistemas, além de dificultar o entendimento, o que poderá prejudicar a proposição de melhorias e adaptações dos indicadores adotados.

A contribuição do capítulo é a classificação dos indicadores utilizados na análise do desempenho do transporte público com base nas normas americana e europeia, de maneira a estabelecer grupos de indicadores a serem utilizados, conforme o objetivo da análise. Além disso, a revisão da literatura mostra quais categorias de indicadores são mais utilizadas, o que permitirá a realização de trabalhos futuros para avaliar em detalhes os estudos que utilizam mesmo grupo de indicadores.

Portanto, a complexidade da operação do STPP apresentada no Capítulo 2 e os pontos discutidos no presente capítulo mostram a necessidade e importância da pesquisa da análise de desempenho operacional do transporte público.

4 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS DO TRANSPORTE PÚBLICO

O presente capítulo realizará uma revisão do DEA com foco no transporte público. O objetivo principal da avaliação de desempenho no contexto de DEA é a definição de uma medida sumária da eficiência na transformação de *inputs* em *outputs*. Esta avaliação permite detectar áreas de excesso de utilização de recursos ou de produção deficiente de resultados. A medida de eficiência resultante da aplicação de DEA visa complementar, ou até substituir a utilização de múltiplos indicadores de avaliação de desempenho, que por vezes são difíceis de articular numa única perspectiva integrada e sem contradições.

A primeira seção apresenta o histórico, conceitos e formulações DEA, de maneira a conhecer os principais aspectos do método. Além disso, as sub-seções apresentam derivação do DEA clássico, como o *Network* DEA, DEA considerando fatores externos e índice *Malmquist*. Na segunda seção, é apresentado as pesquisas e estudos já realizados com utilização de DEA no STPP. Por fim, é apresentada a conclusão do capítulo.

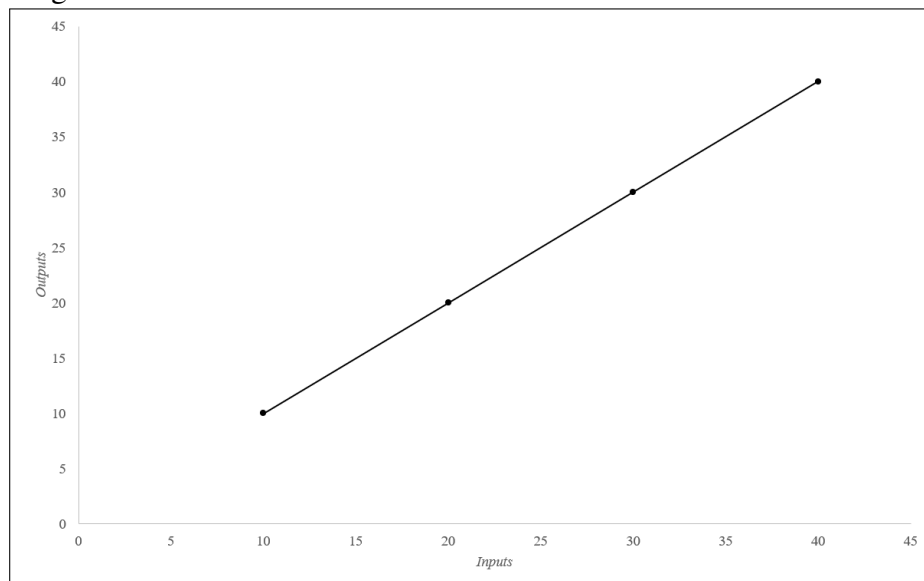
4.1 Análise Envoltória de Dados

O método DEA é baseado em programação linear para construir um modelo não paramétrico de fronteira, cujo objetivo é medir a eficiência relativa de entidades denominadas de DMU. Tal medição é realizada de maneira comparativa, tendo como base as informações de *inputs* e de *outputs* de cada DMU.

Lee *et al.* (2019) citam que DEA tem quatro pressupostos: retorno de escala, convexidade, FDH (*Flexible Disposable Hull*) e orientação a *input* ou *output*. Para retorno de escala, os modelos DEA podem ser: CCR (retorno constante de escala) e BCC (retorno variável de escala). No caso das unidades de decisão terem dimensões homogêneas devem utilizar modelos com retorno à escala constantes (Charnes, Cooper e Rhodes (CCR)), conforme exemplo na Figura 10. No entanto, quando existem DMUs com escalas diferentes, é necessário explorar os retornos à escala das DMUs e usar o modelo Banker, Charnes e Cooper (BCC), conforme exemplos nas Figuras 11 e 12, apenas nos casos em que os efeitos de escala possam ser demonstrados (DYSON *et al.*, 2001).

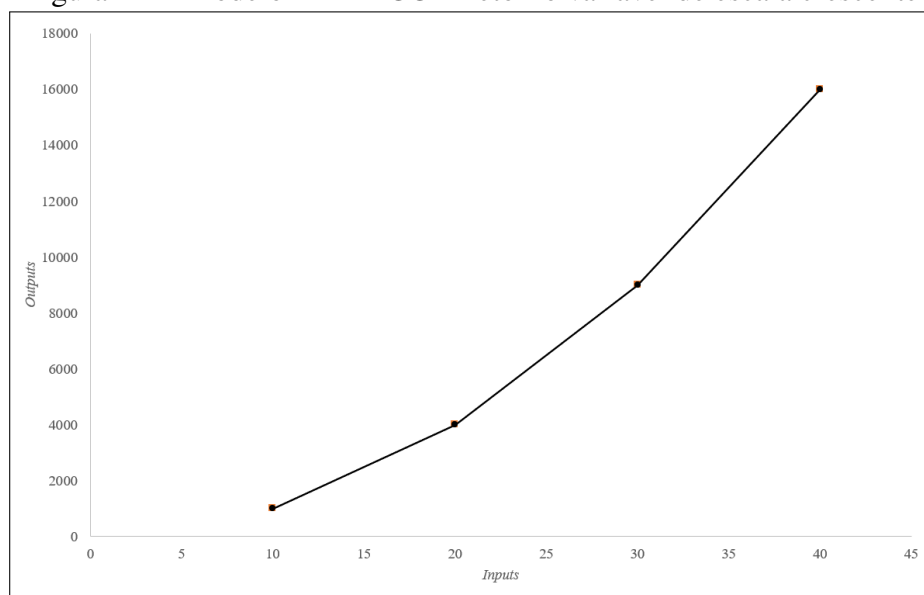
O modelo DEA tem como premissa a convexidade, que supõe que os *inputs* (ou *outputs*) possam ser fracionados, o que nem sempre é possível. Já o pressuposto de FDH tem restrições mais fracas devido a livre disponibilidade, o que faz os resultados da abordagem FDH

Figura 10 – Modelo DEA CCR - Retorno constante de escala



Fonte: Elaborado pelo autor(2023).

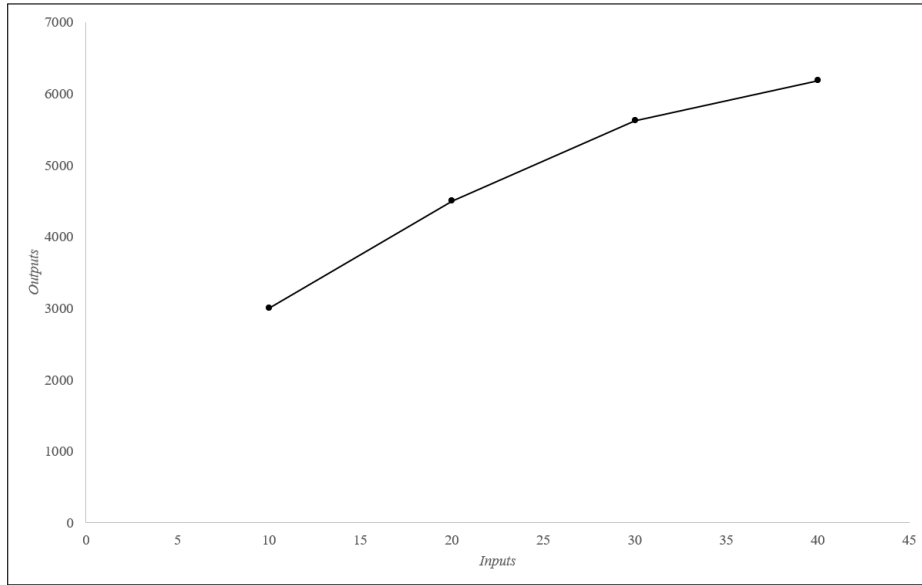
Figura 11 – Modelo DEA BCC - Retorno variável de escala crescente



Fonte: Elaborado pelo autor(2023).

ter a quantidade de DMUs ineficientes ser igual ou menor do que na abordagem DEA. Quanto a orientação, os modelos DEA podem ser orientados *inputs* minimiza-os e mantém os *outputs* constantes ou *outputs* maximiza-os e mantém os *inputs* contantes. A formulação matemática do modelo consta na Equação 4.1.

Figura 12 – Modelo DEA BCC - Retorno variável de escala decrescente



Fonte: Elaborado pelo autor(2023).

$$\max \sum_{r=1}^s u_r y_{ro} + u_o \quad (4.1)$$

sujeito a:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m v_i x_{io} &= 1 \\ \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + u_o &\leq 0 \quad j = 1, \dots, n; \\ u_r, v_i &\geq 0 \text{ e } u_o \text{ é livre} \end{aligned}$$

em que,

m : número total de *inputs*;

s : número total de *outputs*;

n : número total de DMUs;

x_{io} : i th *input* para DMU_o ;

y_{ro} : r th *output* para DMU_o ;

$j = 1, 2, \dots, n$;

v_i : vetor de pesos do *input* x ;

u_r : vetor de pesos do *output* y .

A função objetivo na DEA tem um significado específico. É composta em duas partes, a primeira representa a soma ponderada dos *outputs* da DMU o , onde u_r são os pesos associados aos *outputs* e y_{ro} é a r -ésima *output* da DMU o . Já a segunda parte da função é uma variável livre que está sendo maximizada. O termo u_o é somado a primeira parte. Maximizar u_o pode ser interpretado como permitir que a DMU o tenha uma "folga" ou uma margem extra além

do que é representado pelos *outputs* ponderados. Essa variável livre captura a eficiência residual ou potencial de melhoria na eficiência da DMU o .

Portanto, a função objetivo busca maximizar a eficiência global da DMU o ao considerar a soma ponderada das saídas e permitir alguma folga representada por u_o . Em termos práticos, encontrar os valores ótimos para u_r e u_o implica encontrar uma combinação de pesos que maximize a eficiência da DMU o em relação às suas saídas, levando em consideração uma possível margem de melhoria representada por u_o .

Com relação as restrições do modelo, pode-se dividir em quatro partes.

- i A restrição de peso dos *inputs*: Esta restrição garante que a soma ponderada dos *inputs* para a DMU o seja igual a 1. Em outras palavras, os pesos dos *inputs* (v_i) estão sendo utilizados para calcular uma média ponderada dos *inputs*, e essa média deve ser igual a 1.
- ii A restrição de eficiência: Esta restrição de eficiência garante que a soma ponderada dos *outputs* menos a soma ponderada dos *inputs*, acrescida da variável livre u_o , seja menor ou igual a zero para cada DMU j . Isso expressa a ideia de que os *inputs* ponderados da DMU j não devem exceder os *inputs* ponderados, considerando uma possível folga representada por u_o . A eficiência é alcançada quando essa expressão é igual a zero.
- iii A restrição de não-negatividade: Esta restrição garante que os pesos para os *inputs* (v_i) e os pesos para os *outputs* (u_r) sejam não negativos.
- iv A restrição da variável livre: A variável livre u_o não está sujeita a restrições específicas de sinal (positivo ou negativo), o que significa que pode assumir valores positivos, zero ou negativos. Essa variável representa uma possível folga ou margem de melhoria na eficiência da DMU.

Em resumo, as restrições têm o papel de garantir que as variáveis do modelo (pesos de entrada, pesos de saída e a variável livre) estejam sujeitas a condições que reflitam a eficiência relativa das DMUs, levando em consideração a utilização eficiente das *inputs* e a possibilidade de melhoria representada pela variável livre.

As variáveis de decisão do modelo são os vetores de pesos associados aos *inputs* (v_i), *outputs* (u_r), e a variável livre (u_o), apresentados a seguir.

- i v_i : Vetores de pesos para os *inputs*. Cada v_i é um vetor de pesos associado à i -ésima *input*. Portanto, há m dessas variáveis, uma para cada *input*. As restrições associadas a v_i garantem que a soma ponderada dos *inputs* para cada DMU seja igual a 1.
- ii u_r : Vetores de pesos para os *outputs*. Cada u_r é um vetor de pesos associado à r -ésima

output. Assim, há s dessas variáveis, uma para cada *output*. As restrições associadas a u_r garantem que a soma ponderada dos *outputs* seja devidamente considerada na avaliação da eficiência de cada DMU.

- iii u_o : Variável livre. Essa variável não possui restrições de não-negatividade, o que significa que pode assumir valores positivos ou negativos. É uma variável livre que aparece na função objetivo, sendo somada à soma ponderada das saídas.

Cavaignac e Petiot (2017) citam que o método DEA não só permite a análise de economias de escala e economias de escopo, também permite medir a magnitude da mudança tecnológica, para orientar as decisões de gestão, como definição de preços, investimento na escolha do tamanho do veículo, etc. Além disso, representa uma ferramenta útil para os formuladores de políticas definirem regras de mercado, como níveis de desregulamentação ou tamanho ótimo de mercado. A estrutura do DEA também fornece comparações entre empresas, redes, áreas ou países.

O método de DEA permite distinguir as DMUs eficientes e as ineficientes. As eficientes são consideradas *benchmarks* (isto é, unidades organizacionais que são exemplos de bom desempenho) e formam a fronteira de eficiência. Já as ineficientes, o método permite definir objetivos para melhorar o desempenho de cada *input* e *output*, através da análise comparativa com as unidades eficientes. Adicionalmente, as unidades de referência *benchmarks* para cada unidade ineficiente permite identificar boas práticas que devem ser adotadas nas unidades ineficientes (BOUSSOFIANE *et al.*, 1991).

Liu *et al.* (2013) listam os setores com mais aplicações em DEA, sendo mais de 24 setores, de entre os quais se destacam o setor: bancário, saúde, agricultura, transporte, educação, energia, manufaturado, meio-ambiente, comunicação, financeiro,... Já Barnum *et al.* (2021) afirmam que o uso de DEA está aumentando para medir a eficiência em organizações de transporte. Na revisão realizada por Cavaignac e Petiot (2017), os autores identificaram entre 1989 e 2016 que 461 artigos publicados com aplicações de DEA em transporte, sendo em 2016 o ano com maior publicações do período, com 54 artigos.

Logo, é possível perceber a utilização do DEA em aplicações reais em vários setores. Além da abordagem clássica, há outros modelos e formulações de DEA como por exemplo: o modelo BCC não arquimediano que evita a ocorrência de DMU pseudo-eficientes, conforme Azambuja *et al.* (2002); a análise de dados em painel que utiliza múltiplas DMUs e vários períodos, como cita Barnum *et al.* 2007a; *bootstrap* que procede inferência estatística dos

resultados obtidos pelo modelo DEA, utilizado em Fitzová e Matulová (2020); e a super-eficiência que consiste na comparação da DMU eficiente com as demais, onde a distância entre a fronteira original e a nova fronteira (sem a DMU eficiente) é a super-eficiência, conforme Sun *et al.* (2016a). Nas subseções seguintes, são apresentados outros modelos que serão utilizados no estudo.

4.1.1 Network DEA

O modelo *Network DEA* permite compatibilizar os objetivos individuais com o objetivo principal da empresa que compartilhem algum *input*, enquanto no modelo DEA clássico cada DMU é analisada separadamente (independente das demais). No *Network DEA* as DMUs estão interligadas (dependente) com as DMUs que compartilham os mesmos *inputs*. O modelo foi desenvolvido por Färe *et al.* (1997).

Färe e Whittaker (1995) aplicam um método não-paramétrico de medida de eficiência que inclui produtos intermediários, que são resultados do subprocesso (estágio 1) do modelo que é dividido em dois estágios. Os resultados obtidos demonstram que utilizando o modelo sem produtos intermediários (modelo DEA clássico), a elevada dimensionalidade do modelo domina a solução, e muitas DMUs estão na fronteira; quando introduzidos produtos intermediários, mais combinações de inputs são utilizadas na construção da fronteira, logo as DMUs que pareciam eficientes por causa da dimensionalidade do modelo podem ser ineficientes. Os autores citam como benefício de utilizarem produtos intermediários, o fato da melhor representatividade da realidade.

Färe *et al.* (1997) afirmam que o modelo DEA clássico deixa de fora sub-processos que compõem as funções internas da DMU, sendo denominadas de "caixa preta" pelos autores. Färe *et al.* (1997) avaliaram a eficiência de unidades agrícolas assumindo que é permitida a redistribuição da área de cultivo dos cereais de forma a aumentar a produção total. O modelo permite ainda que a área atribuída à produção de um determinado cereal possa ser superior ou inferior à área de cultivo inicial, desde que a área global da DMU dedicada à produção de todos os cereais não aumente. A metodologia utilizada consiste em comparar os resultados da avaliação de eficiência técnica usando o modelo DEA clássico com os resultados do modelo de *Network DEA*. Esta comparação permite determinar qual o aumento proporcional da produção de cereais que pode ser obtido pela redistribuição da área.

Löthgren e Tambour (1999) estudaram o modelo DEA com a inclusão de informação

da satisfação do cliente para medir a produtividade e a eficiência, a pesquisa utilizou dados das farmácias da Suécia. A pesquisa também identificou uma menor média de produtividade quando utilizado o modelo *Network* DEA comparado com o clássico.

Rolf (2000) citam que o método DEA clássico é uma caixa preta em referência a avaliação da tecnologia, já o modelo *Network* DEA permite avaliar o desempenho organizacional e componentes. Os autores apresentam 3 modelos *Network* DEA: o primeiro que permite alocação de custos/recursos entre subunidades; o segundo modelo utiliza produtos intermediários; e o terceiro considera que alguns *outputs* no período t são inputs no período $t + 1$.

Beasley (2003) apresentam um modelo DEA para problema de alocação de custo fixo de uma organização entre as DMUs. Além disso, demonstram, com exemplo, a rapidez e a eficácia da abordagem de alocação de recursos, de maneira a maximizar a eficiência média da DMU simultaneamente com todas DMUs e limitado pelos recursos organizacionais. Já Lozano *et al.* (2004) aplicaram o modelo DEA para alocação de contêineres de reciclados nos municípios da Espanha com a limitação de que o número de contêineres não pode ser excedido. Os autores citam que diferente do modelo convencional que cada DMU é independente, no modelo *Network* DEA as DMUs estão sob a responsabilidade de uma organização central, ou seja, as DMUs não podem ser analisadas independentemente. A pesquisa de Korhonen e Syrjänen (2004) teve como objetivo desenvolver uma abordagem multiobjetivo à alocação de recursos, assumindo que uma unidade central controla simultaneamente todas as unidades.

Cook e Green (2005) analisaram a eficiência produtiva de 40 unidades térmicas de energia de diferentes idades, capacidades e tipos de combustível. Os autores apresentam a vantagem do *Network* DEA em relação ao clássico, devido a eficiência pelo *Network* DEA permite avaliar além do desempenho das plantas, ao permitir descobrir até que ponto cada uma das subunidades dentro da fábrica está a contribuir para esse desempenho. Isto permite identificar que unidades de energia numa central são de baixo desempenho, e quais as unidades que poderiam servir de referência dentro dessa fábrica.

Com as pesquisas citadas, pode-se fazer um paralelo para o uso do modelo *Network* DEA no transporte público, pode-se notar que cada empresa forma uma organização complexa formada por um conjunto de rotas.

4.1.2 DEA fatores externos - Modelo separação de fronteiras

O modelo agrupa as DMUs de acordo com as características dos fatores externos a que estão sujeitas e realiza separadamente avaliações de eficiência para cada um destes conjuntos.

Ray (1991) utiliza DEA com regressão para estimar a eficiência relativa de escolas públicas. O autor propôs o uso de um modelo de duas fases, segundo o qual os fatores externos não devem ser incluídos no modelo DEA. Assim, numa primeira fase utiliza-se um modelo DEA para avaliar a eficiência tendo em conta apenas os fatores internos. Numa segunda fase recorre-se a um modelo de regressão. A diferença entre o valor de eficiência estimada pelo modelo de regressão e o valor de eficiência obtido no modelo DEA é interpretado como a medida de ineficiência de gestão não causada pelos fatores externos.

Ruggiero (1996) sugere que cada DMU seja apenas comparada com unidades que operam numa envolvente igual ou mais desfavorável, o que assegura uma comparação justa entre as unidades. Pode ser observado que no caso de se incluírem muitos fatores externos, o modelo de Ruggiero (1996) pode conduzir a valores de eficiência próximos de 1 para quase todas as unidades e a um número elevado de unidades eficientes. Parte deste efeito é explicado pelo reduzido número de unidades de referência com que cada DMU, com envolvente desfavorável, é comparada.

Fried *et al.* (1999) utilizam um procedimento não paramétrico, de programação linear, de fronteira para obter uma medida de eficiência de gestão que controla as características exógenas do ambiente de operação, sendo a aplicação realizada em uma amostra de lar de idosos. Pode-se considerar como variáveis externas a forma de propriedade, características de localização, relações laborais e regulamentos governamentais. Os fatores externos poderiam influenciar a capacidade da gestão para transformar *inputs* em *outputs*. Neste contexto, a ineficiência tem várias componentes: ineficiência de gestão, ineficiência de propriedade, e ineficiência regulamentar. A natureza da ineficiência é importante para a concepção de políticas que melhorem a alocação dos recursos. A proposta metodológica é estabelecida com procedimento em quatro fases. Esta abordagem tem quatro vantagens. Primeira, o resultado final é uma medida radial da eficiência de gestão com a interpretação convencional. Segunda, não é necessário classificar as variáveis externas em categorias de *inputs* e *outputs* antes da análise. Terceira, a influência das variáveis externas na utilização eficiente de cada *input* (para um modelo orientado para *input*) ou a produção eficiente de cada *output* (para um modelo orientado para *output*) pode ser testada. E quarta, a informação sobre folgas ou excedentes gerados pelo modelo inicial é utilizada nos

cálculos.

Muñiz (2002) demonstram a importância da utilização de *inputs* não controláveis na obtenção da eficiência técnica no modelo DEA. A aplicação é realizada no setor de educação e como resultado obtido mostra a superioridade da abordagem multi-estágio. Como variáveis não controláveis foram selecionados dados socio-econômicos e o status da família do estudante, fatores que tem uma considerável influência sobre os resultados da escola sem que tenha possibilidade de os gestores escolares manipularem essa variável.

Fried *et al.* (2002) propõem uma nova técnica para incorporar os efeitos ambientais e o ruído estatístico numa avaliação do desempenho com base na análise envoltória de dados (DEA). Afirmam que o desempenho é influenciado por três fenômenos muito diferentes: a eficiência com que a gestão organiza as atividades, as características do ambiente em que as atividades de produção são realizadas, e o impacto das variáveis omitidas, e fenômenos relacionados que seriam coletados num termo de erro aleatório numa avaliação baseada na regressão do desempenho. E como resultado, os autores comparam que a inclusão de variáveis externas ao modelo altera o desempenho quando comparado com o modelo DEA clássico.

Ruggiero (2004) propôs outra alteração ao modelo, permitindo que cada DMU avaliada pudesse ser comparada com outras unidades com envolvente mais favorável até um determinado limite.

O transporte público, assim como o setor de educação, tem influência de fatores externos seja em relação ao perfil do usuário, seja pela região atendida. Logo, a inclusão de variáveis externas na análise de desempenho da operação do transporte público contribuirá para um resultado mais representativo em relação ao modelo DEA clássico onde são inseridos apenas aspectos controláveis pelo gestor/operador.

4.1.3 DEA ao longo do tempo - Índice Malmquist

Os modelos de DEA (CCR e BCC) avaliam a eficiência das DMUs para um período específico. Quando se consideram mais de um período pode-se analisar a evolução do desempenho ao longo do tempo. Para realização da análise de desempenho ao longo do tempo, o método mais utilizado é o índice de produtividade de Malmquist. O índice Malmquist foi introduzido por Caves *et al.* (1982) e foi utilizado pela primeira vez na literatura de DEA por Berger e Humphrey (1992) e desenvolvido por Färe *et al.* (1994). O índice Malmquist é um método bastante utilizado na literatura para medir produtividade. As razões da sua grande utilização deve-se pelo fato de

facilmente utilizar múltiplos *inputs* e *outputs* e não necessitar da informação relativa dos preços dos *inputs* e *outputs*. Outra razão relaciona-se com o fato da decomposição do índice fornecer informações sobre as causas de variação da produtividade.

De acordo com Caves *et al.* (1982), o objetivo do índice Malmquist é comparar o desempenho das unidades de decisão entre o período t e o período $t + 1$. Baseia-se no conceito de função de distância, que mede a eficiência relativa das DMUs em transformar entradas em saídas. O índice Malmquist calcula a mudança de produtividade ao longo de um período de tempo, comparando a eficiência de uma DMU em dois pontos diferentes no tempo. A equação 4.2 representa o índice Malmquist, onde a primeira parte da equação está relacionada à mudança na eficiência técnica e a segunda parte (na raiz quadrada) está relacionada à mudança tecnológica.

$$MI^{t,t+1} = \frac{E^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{E^t(x^t, y^t)} \sqrt{\frac{E^t(x^t, y^t)}{E^{t+1}(x^t, y^t)} \frac{E^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{E^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}} \quad (4.2)$$

onde,

$MI^{t,t+1}$: índice Malmquist entre os períodos t e $t + 1$;

x^t, y^t : *Inputs* e *outputs* para o período t ;

x^{t+1}, y^{t+1} : *Inputs* e *outputs* para o período $t + 1$;

E^t : Eficiência para o período t ;

E^{t+1} : Eficiência para o período $t + 1$.

Para o transporte público, o Índice Malmquist é importante, tendo em vista que a operação é dinâmica com a variação da oferta e da demanda ao longo do período em estudo, seja por pico/fora pico, por faixa horária, por dia da semana, por mês ou por ano.

Na próxima seção, abordaremos artigos que aplicaram DEA no setor de transporte público de passageiros, com destaque para o modelos e dados utilizados, assim como o objetivo da pesquisa.

4.2 Aplicações de DEA no Sistema de Transporte Público de Passageiros

A aplicação de análise envoltória de dados no sistema de transporte público de passageiros vem sendo pesquisada ao longo de várias décadas. A seguir são apresentados alguns artigos que analisaram a eficiência do transporte público com DEA.

Um dos primeiros trabalhos a analisar medidas de desempenho no transporte público, foi de Gleason e Barnum (1982) que examinaram as fraquezas e os vieses inerentes às medidas

comumente usadas de desempenho do transporte coletivo. O estudo discute a importância da utilização correta dos termos de eficácia e eficiência, assim como concluem que devem ser utilizadas várias medidas devido não existir uma medida de desempenho universal. Além disso, alertam para a necessidade de pesquisar os efeitos indesejáveis ao implementar novas políticas com base nas medidas de desempenho.

Azambuja *et al.* (2002) elaborou um conjunto de procedimentos que teve como objetivo medir a eficiência na gestão do transporte público por ônibus, em municípios brasileiros com perfis diferentes (capitais e cidades de grande, médio e pequeno porte), sendo excluído o transporte entre cidades. O método DEA utilizado foi o padrão não-arquimédiano orientado a *outputs*. Os dados utilizados foram de anuários da Associação Nacional dos Transportes Públicos (ANTP) no período de 1996 à 2000, tendo em vista que o anuário era incompleto em outros períodos. As variáveis do modelo foram: total de ônibus e funcionários e número de rotas (3 *inputs*) e passageiros e quilometragem por ano (2 *outputs*). Além disso, o estudo recomenda a utilização de avaliações de eficiência como instrumento para monitoramento e estímulo do desempenho dos operadores. O autor ressalta a importância que sejam disponibilizados dados mais completos para que se possa desenvolver, com maior aprofundamento, análises sobre a eficiência do transporte público.

Sampaio *et al.* (2006) utilizaram o método DEA, com retornos variáveis de escala. As variáveis utilizadas no modelo foram: custo operacional, total de veículos equivalente e número de empregado dos órgãos gestores (3 *inputs*) e total de passageiros e extensão da rota (2 *outputs*), obtidos da ANTP e de sites para sistemas fora do Brasil. O objetivo dos autores foi de avaliar a performance de sistemas de transporte do nordeste brasileiro e comparar com outros sistemas.

Sheth *et al.* (2007) avaliaram a prestação de serviços de ônibus ao longo das diferentes rotas que compõem uma rede de transporte público nos Estados Unidos sob a perspectiva dos prestadores de serviços, dos usuários e da sociedade. O estudo utiliza avaliação de desempenho “desagregada” que fornecerá aos tomadores de decisão *insights* sobre como melhorar o desempenho da rede como um todo. As variáveis do modelo foram: *headway*, custo, duração da operação, número de intersecções e faixas prioritárias (5 *inputs*) e tempo médio de viagem, veículos por quilômetro, confiabilidade da programação horária e passageiros por quilômetro (4 *outputs*). O método DEA utilizado foi o *Network DEA* e dois estágios com a consideração de variáveis externas. A abordagem proposta pelos autores permite ao tomador de decisão não

apenas alocar recursos de maneira otimizada na rede de transporte público, mas também atingir metas para variáveis sociais que representam o ambiente em que o serviço é prestado.

Lin *et al.* (2008) desenvolveram uma estrutura de controle de qualidade para confiabilidade da programação horária dos ônibus. Os autores utilizaram dados de dispositivos de AVL para 24 rotas de Chicago (Estados Unidos). As variáveis utilizadas no modelo foram: tempo de operação e *headway* (apenas *outputs* foram utilizados na aplicação) para 24 rotas por sentido e um período de 29 semanas (ano 2006). O método DEA utilizado foi usando análise de dados em painel (Barnum *et al.* 2007a) (Washington *et al.* 2010). Os autores concluem que a estrutura baseada no método de DEA demonstra uma clara superioridade em termos de fornecer uma medida de desempenho abrangente que identifica problemas com rapidez e precisão. Por fim como contribuições, os autores destacam novo uso para os dados de AVL para a operação do transporte público, como o órgão público utiliza os dados para resolver problemas de confiabilidade do sistema, além de ser um dos primeiros estudos a utilizar DEA para avaliar subunidades (rotas).

Araújo *et al.* (2008) avaliaram a eficiência de empresas que atuam no transporte rodoviário interestadual de passageiros (TRIP), com o método de DEA com retorno de escala variável (BCC) orientado a *inputs*. As variáveis utilizadas foram: quantidade de combustível e frota (2 *inputs*) e passageiros por ano, quilometragem e passageiros.kilômetro (3 *outputs*). Os autores destacam que pelo nível de agregação das variáveis, pouco se pode fazer em relação a seleção das variáveis, utilizando as que estavam disponíveis. Como conclusão, o estudo cita que o DEA se mostrou uma ferramenta de grande potencial para o auxílio dos agentes reguladores, a fim de identificarem padrões de operação eficientes e subsidiar na fixação de metas de desempenho a serem atingidas.

Barnum *et al.* (2011) desenvolveram um procedimento baseado em DEA para estimar: eficiência geral, técnica e alocativa do transporte público de uma área metropolitana dos Estados Unidos. Como variáveis foram utilizadas: despesas totais da operação (*input*) e assentos por hora de serviço (*output*). O método DEA utilizado foi com retorno variável de escala orientado a *inputs*. Os dados obtidos pela pesquisa foram de 2002 a 2006 de 52 agências de transportes, mas sendo utilizados apenas o ano mais recente, tendo em vista que o foco do artigo era a nova metodologia e não análise intertemporal. Além disso, os autores destacam que a análise agregada da eficiência do transporte público de passageiros é insuficiente, pois a razão do desempenho é encontrada na análise de subunidades (rotas) e que é insuficiente analisar apenas algumas rotas,

devido este resultado incompleto de uma parte da rede de transporte público ser entendido como a eficiência geral do sistema de transporte.

Já Díaz e Charles (2016) estudam o efeito da forma de contratação das empresas de transporte público na França sobre a eficiência do setor. A pesquisa utilizou a análise de envoltória de dados para estimar a eficiência do sistema por tipo de contrato. O método DEA utilizado foi com retorno variável de escala. O período dos dados utilizados foram de 1995 a 2010 para 126 cidades francesas. Como variáveis foram utilizadas: funcionários, combustível e frota (3 *inputs*) e assentos.kilômetro (*output*).

Outra perspectiva de análise é a comparação entre a eficiência operacional e o nível de serviço, realizado por Güner e Coşkun (2016) que investigaram a eficiência operacional e o desempenho do nível de serviço das empresas de transporte público em Sakarya (Turquia) para 30 rotas de transporte público. As variáveis utilizadas foram: frota, extensão da rota, combustível, frequência, tempo de operação do serviço, pontos de paradas por quilômetro, desvio da distância mais curta e tempo de viagem (8 *inputs*) e a quantidade de passageiros por dia (*output*). O método DEA utilizado foi a abordagem em 2 etapas com retorno constante de escala orientado a *inputs*. O estudo apresenta como conclusão que a eficiência e a eficácia das subunidades do sistema de transporte público devem ser consideradas em conjunto, sendo possível melhorar qualquer dimensão sem piorar a outra.

Também é possível a utilização de outras ferramentas em conjunto com a análise envoltória de dados. Sun *et al.* (2016a) utilizam *Geographic Information System* (GIS) para construir o sistema de rotas e realizam análise espacial, com dados de *smart card* e GPS (do transporte público e táxi). Além disso, o estudo usa o DEA e *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para ter um modelo de avaliação de um único indicador sob três aspectos (planejamento, operação e serviço), assim categorizando as rotas, bem como identificar as necessidades de melhorias. O método DEA utilizado foi super-eficiência DEA. As variáveis utilizadas foram: frequência, número total de paradas, coeficiente de desvio de demanda rota, tempo médio de transferência, taxa de chegada dos veículos, taxa de permanência no pico e taxa de atraso no pico (7 *inputs*) e quantidade de passageiros (*output*). A aplicação do estudo foi realizada na cidade Shenzhen (China) em 18 rotas de ônibus e para o táxi. Por fim, os autores destacam que os dados massivos podem formar uma plataforma sistemática para aplicações mais avançadas na área de transporte público e que devido à indisponibilidade de dados, o estudo não incorporou índices relacionados às características dos passageiros, o que pode afetar desempenho das rotas.

Zhu *et al.* (2016) desenvolveram um modelo de medição de eficiência de rotas de ônibus com DEA. O objetivo principal foi medir com imparcialidade a eficiência gerencial das rotas de ônibus, e adicionalmente investigar os efeitos do ambiente operacional sobre eficiência. O método DEA utilizado foi em 3 estágios Fried *et al.* (2002) com a consideração de variáveis externas e ruído estatístico, com retorno variável de escala e orientação a *inputs*. As variáveis utilizadas foram: quantidade de motoristas, combustível e frota (3 *inputs*) e veículos-quilômetros, receita tarifária, velocidade média e taxa de pontualidade (4 *outputs*). Os dados são obtidos dos sistemas de monitoramento dos veículos e pesquisas realizadas nas 39 rotas na cidade de Jiangyin (China), no mês de abril de 2011. Como conclusão, o estudo cita que as variáveis exógenas afetam significativamente a eficiência operacional e velocidade média de operação, comprimento da rota e a densidade média dos pontos de paradas são úteis para a eficiência operacional.

Já Tran *et al.* (2017), utilizaram o DEA para medir o desempenho de 42 rotas do transporte público de Brisbane (Austrália). A pesquisa tem como objetivo fornecer *insights* sobre o desempenho espacial e temporal de rotas individuais dentro de um sistema de transporte público baseado em *smart card*. O método DEA utilizado foi com retorno variável de escala e orientação a *outputs*. As variáveis utilizadas foram: extensão da rota, tempo de operação do serviço, número de serviços, extensão da rede de transporte público, distância entre intersecções semaforizadas, distância entre pontos de paradas, faixas prioritárias, velocidade média e espaço.quilômetro (9 *inputs*) e espaço.quilômetro, velocidade média, trabalho do transporte público e taxa de pontualidade (4 *outputs*). A aplicação utilizou dados de operação do dia 21 de agosto de 2013 dos sistema de bilhetagem (*Go-card*). O estudo apresentou como limitação não ter realizado a pesquisa da influência de fatores ambientais na eficiência das DMUs.

Fitzová *et al.* (2018) analisaram a eficiência dos sistemas de transporte público urbano de 19 cidades da República Tcheca durante 2010–2015. A eficiência foi avaliada por meio de uma análise em duas etapas. O método DEA em dois estágios com a regressão Tobit foram utilizados para obtenção da eficiência, e também com a consideração do retorno constante e variável de escala. As variáveis utilizadas foram: frota, funcionários e combustível (3 *inputs*) e total de passageiros (*output*). O estudo sugere como estudos futuros a inserção de novos dados, aplicação em outras localidades e a comparação com outros métodos.

Também há revisão dos trabalhos publicados, como o realizado por Karim e Fouad (2018) que fizeram uma revisão sistemática da literatura de 22 estudos empíricos que mediram o desempenho do transporte público urbano no nível da rota usando métodos de fronteira. As

variáveis mais utilizadas nos estudos analisados foram: frota, quantidade de pontos de paradas por rota, extensão da rota, confiabilidade, transferência entre rotas, custo da operação e tempo de viagem (7 *inputs*) e quantidade de passageiros, confiabilidade, velocidade média, passageiros.quilômetro, veículos.quilômetro e fatores ambientais (6 *outputs*). Os autores identificaram que a maioria dos estudos são aplicados em países desenvolvidos (17 de 22) e que poucos estudos consideraram fatores externos (6 de 22).

Além da avaliação do desempenho do sistema de transporte público, Lee *et al.* (2019) analisaram a eficiência das estações de transferência em Seul (Coreia do Sul). O objetivo deste estudo foi estimar a relação eficiência das estações de transferência entre ônibus e metrô usando dados de *smart card* e sugerir as estratégias de melhoria para alcançar a eficiência. A eficiência da transferência foi estimada usando o DEA e a análise de regressão Tobit foi realizada para identificar os fatores que influenciam a eficiência da transferência. O estudo considerou 32 estações de transferências e utilizou dados da operação do dia 22 de maio de 2013. As variáveis utilizadas foram: tempo de transferência, quantidade de linhas de metrô, tempo de espera, quantidade de faixas prioritárias e quantidade de pontos de paradas (5 *inputs*) e quantidade de transferência e taxa de transferência (2 *outputs*). Como recomendação para estudos futuros, os autores recomendam a proposição e avaliação de medidas específicas para coordenar as rotas existentes.

Em outro trabalho, Fitzová e Matulová (2020) compararam os sistemas de transporte público urbano em dois países (República Tcheca e Eslováquia). O estudo realizado consistiu em análise de eficiência em duas etapas com fronteiras de produção usando análise de envoltória de dados e regressão Tobit subsequente para identificar o impacto de variáveis contextuais. Além disso, os autores utilizaram o método *bootstrap* para calcular a eficiência e seus fatores em uma única etapa. A aplicação foi realizada em 19 (República Tcheca) e 15 (Eslováquia) companhias de transporte público, no período de 2010 - 2017. As variáveis utilizadas foram: funcionários, frota de trens e combustível (3 *inputs*) e quantidade de passageiros e receita (2 *outputs*).

Os estudos Fitzová *et al.* (2018) e Fitzová e Matulová (2020) analisaram a eficiência do transporte público com o DEA e comparando com outras locais (países e cidades), o que demonstra a utilidade do método de além de ser possível avaliar o sistema internamente, ser possível comparar com outros sistemas.

SousaJúnior *et al.* (2023) aplicaram o método DEA e o índice Malmquist com o objetivo de obter o desempenho operacional no transporte público da Região Metropolitana de

Fortaleza, no período de 2016 à 2022. As variáveis utilizadas foram: tempo de operação, idade da frota e quilometragem percorrida (3 *inputs*) e quantidade de passageiros e receita tarifária (2 *outputs*).

Portanto, há diversas finalidades e aplicações possíveis de serem realizadas com análise envoltória de dados no sistema de transporte público de passageiros. Apesar dos estudos citados abordarem finalidades variadas, há espaços para novas aplicações seja pela questão de espacial (regiões em desenvolvimento), com novos dados de sistemas de monitoramento e bilhetagem ou pela forma de análise apenas por rotas ou conjuntos de rotas agregadas por empresa ou região, com a inclusão de fatores externos ao sistema de transporte público de passageiros e ao longo de vários anos. A análise integrada com diferentes abordagens permitirá um diagnóstico mais preciso para obtenção de categorias específicas que necessitam de melhorias para tornar o sistema de transporte público de passageiros eficiente.

4.3 Conclusão

O presente capítulo apresenta revisão bibliográfica do método DEA e os principais modelos utilizados na literatura, assim como a aplicação no serviço de transporte público de passageiros. Além do modelo DEA clássico, também são citados: o *Network* DEA que permite agregar os objetivos individuais de cada DMU ao objetivo principal da organização, DEA fatores externos que considera variáveis não controláveis pelos gestores e que tem impacto no desempenho da DMU e índice Malmquist que realiza a análise de desempenho ao longo do tempo.

As aplicações do método DEA no setor de transporte público demonstram que uma quantidade diversificada de pesquisas, mas não consideram mais de uma abordagem ou dados massivos para um longo período, de maneira a ter uma análise mais completa e que permita diagnosticar as ineficiências para que os gestores possam agir com mais rapidez e precisão para melhorar a operação do transporte público.

A contribuição do capítulo é a discussão de modelos DEA que podem ser utilizados para analisar o desempenho da operação do sistema de transporte público de passageiros. Além disso, a revisão da literatura mostra os principais aspectos de cada modelo DEA, o que permite uma fundamentação do método a ser utilizado nas pesquisas de análise de desempenho.

Portanto, o método DEA pode ser utilizado para analisar o desempenho da operação do STPP apresentada no Capítulo 2, com a utilização de grupo de indicadores, conforme consta

no Capítulo 3. A descrição da proposta de análise de desempenho do serviço de transporte público será discutida no próximo capítulo.

5 ANÁLISE DO DESEMPENHO OPERACIONAL DO TRANSPORTE PÚBLICO EM 4 ETAPAS

O presente capítulo apresentará a metodologia proposta para análise de desempenho do sistema de transporte público de passageiros. A importância do transporte público em regiões urbanas/metropolitanas, assim como a complexidade em atender aos anseios da população em uma rede que forneça um serviço que seja seguro, confiável, eficiente, eficaz e com modicidade tarifária, requer que a operação sempre esteja em aperfeiçoamento, para se adaptar às mudanças da demanda e corrigir possíveis falhas, conforme já discutido no Capítulo 2. O objetivo deste capítulo é propor uma metodologia para realizar a análise de desempenho da operação do sistema de transporte público de passageiros a partir dos dados massivos.

A metodologia proposta procura interligar os aspectos citados nos capítulos 2, 3 e 4, com a necessidade de analisar o STPP para obter o desempenho da operação, com o uso dos dados massivos e do modelo DEA, e assim, ter um diagnóstico mais abrangente que considera as rotas, fatores externos que influenciam o transporte público e a evolução do desempenho da operação ao longo do tempo.

O procedimento para execução de cada etapa do método de análise de desempenho será discutido na seção seguinte com os principais elementos a serem utilizados para aplicação do método.

A primeira seção apresenta o método para tratamento dos dados massivos. A segunda seção aborda o método de análise de desempenho composto em 4 etapas, de forma a possibilitar a compreensão do serviço e contribuir com a proposição de melhorias, além de permitir uma avaliação eficiente e transparente do serviço. Por fim, é apresentada a conclusão dos principais aspectos do capítulo.

Antes de descrever o método de análise faz-se necessário abordar a etapa de tratamento dos dados.

5.1 Tratamento dos dados

A fase de tratamento de dados requer uma metodologia para estruturar as etapas de extração, junção, limpeza e análise dos dados, logo é utilizado o modelo *Cross-Industry Standard Process for Data Mining* (Crisp-DM) que abrange: entendimento do assunto e dos dados, preparação, modelagem, avaliação e distribuição. A seguir será detalhada a etapa de preparação dos dados.

A construção da base de dados do sistema de bilhetagem eletrônica dispõe de diversos tipos de informação desde a empresa, rota, sentido, período, validação, dentre outros. Devido a grande quantidade de dados é necessário a realização de tratamento para identificar possíveis inconsistências. Conforme Zhou *et al.* (2019), Nunes *et al.* (2015), Barry *et al.* (2009), os dados brutos, geralmente, contêm registros incorretos, ilógicos ou sem dados, tendo a necessidade de se preparar os dados. Trépanier *et al.* (2007) abordam a etapa de pré-processamento para identificar erros e se possível corrigi-los antes do processamento.

A preparação dos dados, para ser utilizados no método, pode ser realizado por etapas: Na 1ª etapa é a própria construção do banco de dados da quantidade de viagens; na 2ª etapa, é analisado a presença de *outliers*. De acordo com Pearson (2018), a detecção de *outlier* pode ser realizada como um procedimento matemático automático, seja pela regra dos 3 sigmas, ou pelo identificador Hampel, ou pela regra do *boxplot*, mas a interpretação não pode ser automática. O autor recomenda que seja considerada a experiência e o conhecimento do especialista nos dados. O estudo utilizou o método de 3 sigmas para retiradas de *outliers*.

O método 3 sigmas refere-se a uma técnica estatística utilizada para medir e controlar a variabilidade dos dados. O sigma é desvio padrão, que em estatística, indica o quanto os valores individuais se desviam da média em um conjunto de dados. Com a média e o desvio padrão foram retirados os *outliers* de cada rota, valores que estavam fora do intervalo entre média e menos 3 desvios padrão e a média mais 3 desvios padrão.

Além do método dos 3 sigmas, na etapa 2 pode ser necessário a exclusão de viagens cujo o tempo de viagem seja menor do que o tempo de viagem considerando a velocidade máxima da via. Por exemplo, uma rota de 30 km com velocidade da via de 60 km/h terá um tempo de viagem de 30 minutos, logo qualquer viagem com tempo inferior a 30 minutos deve ser excluída.

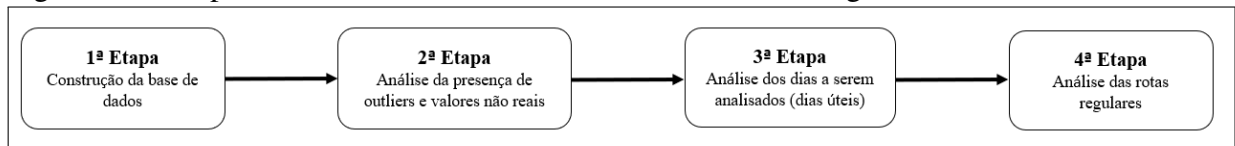
Na terceira etapa, são excluídos os finais de semana e feriados, permanecendo apenas os dias úteis. O uso das viagens apenas nos dias úteis tem como justificativa por ser os dias de maior demanda, consequentemente maior oferta e horário de pico, onde requer uma maior atenção na operação realizada. As viagens de finais de semana e feriados no transporte público apresentam comportamento diferente (motivo da viagem, perfil do usuário,...) e menor oferta/demanda em relação aos dias úteis.

Por fim, na quarta etapa, faz-se necessário analisar se todas as rotas são regulares ao longo do período. A necessidade de exclusão de rotas não regulares é pelo fato de se forem

consideradas podem ser ineficientes pelo fato de não operar em todo o período das demais rotas em análise.

A Figura 13 mostra as quatro etapas a serem seguidas para o tratamento dos dados de bilhetagem, como forma de reduzir inconsistências que não representem a operação realizada.

Figura 13 – Etapas de tratamento dos dados do sistema de bilhetagem eletrônica do STPP



Fonte: Elaborado pelo autor(2023).

Concluída a preparação dos dados, pode-se seguir para etapa de modelagem que consiste em selecionar a técnica, construir o caso de teste e o modelo. Em geral, a escolha depende do problema e dos dados disponíveis.

Além dos dados disponíveis no sistema de bilhetagem eletrônica, são necessárias informações complementares do sistema de transporte público de passageiros para que seja possível realizar a análise. Dentre outras informações, destacam-se: cadastro das rotas, mapa da rede de transporte, programação horária, política tarifária, perfis de usuários.

5.2 Métodos de análise

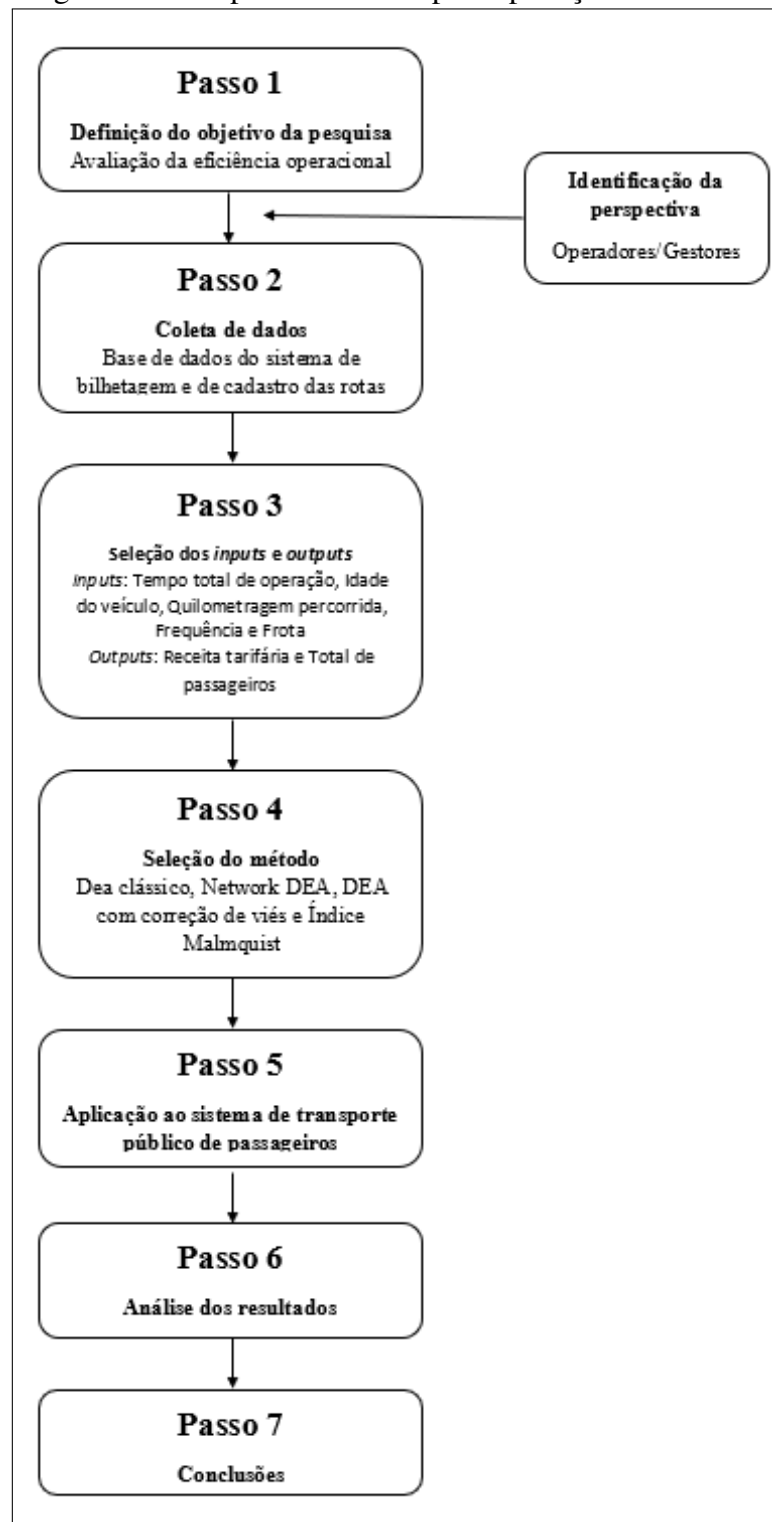
O método deve possibilitar a comparação das rotas de todo o sistema de transporte público de passageiros. A Figura 14 mostra o fluxo das etapas que será realizada para aplicação do método de análise do desempenho operacional.

A etapa de definição do objetivo da pesquisa é único para as 4 modelos que é a avaliação da eficiência operacional do sistema de transporte público de passageiros, tendo como DMUs as rotas. A identificação da perspectiva pode ser do ponto de vista do usuário, operadores e gestores, como a proposta da pesquisa é utilização de dados massivos que não contém informações de qualidade (ponto de vista do usuário), a perspectiva adotada é do ponto de vista de operadores/gestores.

As etapas relacionadas a coleta de dados e seleção dos *inputs* e *outputs* dispõem de características semelhantes para as quatro análises realizadas. A seguir consta cada variável com a descrição e a forma de obtenção.

- Tempo de operação: o tempo efetivo de operação no ano para realização da viagem de cada rota (em horas);

Figura 14 – Etapas necessárias para aplicação do método



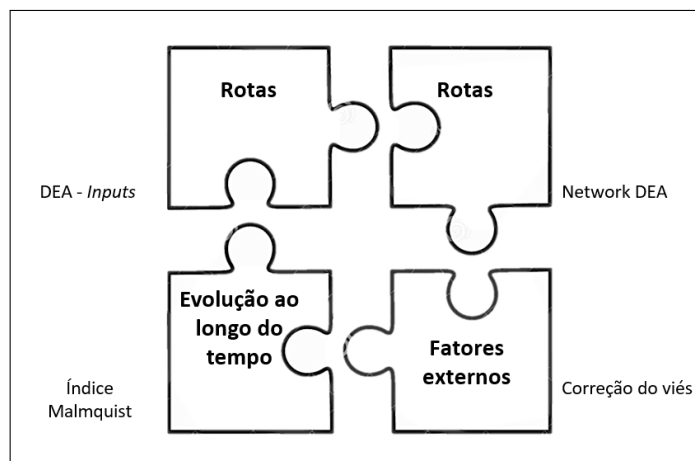
Fonte: Elaborado pelo autor(2023).

- Idade do veículo: a soma da idade do veículo utilizado em cada viagem no ano, para cada rota (em anos);
- Quilometragem percorrida: a quilometragem total percorrida no ano, para cada rota (em km);

- Frequência: Quantidade de viagens realizadas no ano, para cada rota;
- Frota: Quantidade de veículos utilizados em cada rota no ano, para cada rota;
- Receita tarifária: a receita tarifária obtida no ano por rota (em R\$). De maneira a padronizar as receitas em anos diferentes foram atualizadas conforme os reajustes tarifários realizados durante o período da análise;
- Quantidade de passageiros: a quantidade de passageiros transportados no ano, por rota.

Já a seleção do método, Figura 15, difere para cada modelo, de maneira a atender a função específica de cada aplicação. A análise em 4 etapas do desempenho da operação permite realizar a análise sob a perspectiva interna e externa. As etapas da análise interna utiliza apenas variáveis do STPP e avalia o desempenho das rotas em determinado período e por ano, de maneira a possibilitar a identificação em que pontos serão necessários para melhorar a eficiência do transporte público. Já a etapa externa, busca complementar a interna com variáveis que não são específicas do transporte público, mas interferem na prestação do serviço, como exemplo, a população e renda familiar que são parte da característica da demanda. A Figura 15 mostra as quatro etapas a serem realizadas para avaliação da operação do transporte público.

Figura 15 – Etapas da análise de desempenho operacional do STPP com DEA



Fonte: Elaborado pelo autor(2023).

Tal análise mostra-se importante para verificar se existe disparidade no desempenho das rotas e identificar as mais eficientes, assim as rotas eficientes possam a ser *benchmarking* para as demais. Concluída essa primeira análise, será realizada a avaliação de rotas pelo método *Network DEA*. A análise pelo método de rede permite identificar objetivos precisos para cada rota, tendo em vista que compartilham recursos limitados, como por exemplo veículos e funcionários (mesma empresa) e/ou tem perfis semelhantes, como atendimento à demanda, área geográfica,

dentre outros. Para o cumprimento desta etapa, foi utilizado o network DEA que permite compatibilizar os objetivos de cada rota com os objetivos da empresa responsável. Estas duas etapas são responsáveis pela análise interna do sistema de transporte público.

A terceira análise consiste na aplicação de um modelo de análise de desempenho do sistema de transporte público de passageiros que considere fatores externos, como por exemplo condições socio-econômicas, características geográficas, dentre outros. Por fim, é realizada a análise de desempenho das rotas ao longo do tempo, de maneira a obter a variação da eficiência de cada rota. A análise utiliza o índice de produtividade total de Malmquist.

Com as 4 etapas independentes, dependendo dos dados disponíveis e do objetivo do estudo, não é obrigatório a aplicação de todas as etapas, apesar de cada etapa contribuir para um diagnóstico mais completo da operação.

Finalizadas as quatro etapas, a próxima é a aplicação com a utilização dos dados nos modelos selecionados. A análise dos resultados devem ser analisados e discutidos com os gestores e/ou operadores do sistema de transporte público, com o objetivo de refinar e ajustar o método e os modelos utilizados. Por fim, as conclusões do método para fornecer os principais pontos encontrados na análise de desempenho da operação. A transparência e forma de transmitir os resultados obtidos é determinante para validar as conclusões de todo o processo.

5.2.1 *Análise por rotas pelo método clássico*

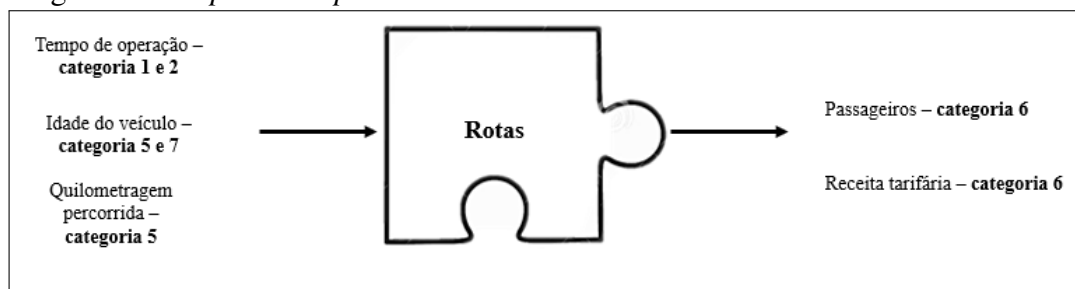
O objetivo principal da análise de desempenho por rotas é a obtenção de uma medida sumária da eficiência na utilização dos *inputs* para obtenção dos *outputs*. Portanto, com o índice de eficiência de cada rota é possível analisá-las e ter o diagnóstico de possíveis adequações para prestação do serviço com qualidade. O desempenho de cada rota é avaliado através da comparação com rotas que compõem o mesmo sistema de transporte público de passageiros.

A Figura 16 mostra os *inputs* e *outputs* que podem ser utilizados na avaliação do desempenho operacional do sistema de transporte público de passageiros. Os *inputs* tem relação com a oferta que abrange, principalmente, as categorias 1 (disponibilidade), 2 (tempo) e 5 (conforto). Além destes, a variável idade do veículo pode ser classificada na categoria 7 (manutenção) como *proxy* do custo de manutenção, quanto maior a idade do veículo, maior será o custo de manutenção. Algumas variáveis utilizadas nos estudos citados no trabalho é possível de se obter através dos dados de bilhetagem e da base de cadastro são: tempo de operação, idade do veículo e quilometragem percorrida.

O modelo DEA utilizado é com retorno variável de escala devido a relação *outputs/inputs* não apresentarem crescimento constante, pelo fato das rotas terem características específicas como extensão, frequência, itinerário, dentre outras que produzem resultados variáveis.

Para os *outputs*, abrange a categoria 6 (econômica) que tem relação com a oferta do serviço. Diferente da seleção dos *inputs*, nos *outputs* é restrito a quantidade de variáveis utilizadas, sendo bastante utilizado as variáveis: quantidade de passageiros e receita tarifária que representam a categoria econômica.

Figura 16 – *Inputs e outputs* - Modelo DEA Clássico



Fonte: Elaborado pelo autor(2023).

O tempo total de operação representa o período efetivo de prestação do serviço durante o período anual, além de representar os custos relacionados a operação (veículos e mão de obra utilizada), a variável foi utilizada nos trabalhos de: Sheth *et al.* (2007), Güner e Coşkun (2016), Tran *et al.* (2017).

No estudo de Hanumappa *et al.* (2015), os outros *inputs*, idade da frota e quilometragem percorrida, foram utilizados. A idade da frota é um indicador de custo de manutenção, quanto maior a idade do veículo maior são os custos com manutenção. A quilometragem percorrida, assim como o tempo total de operação, tem relação com os custos da oferta e da mão de obra.

Para os *outputs*, dentre as publicações analisadas, a variável passageiros é a mais utilizada (Azambuja *et al.* (2002), Sampaio *et al.* (2006), Araújo *et al.* (2008), Güner e Coşkun (2016), Sun *et al.* (2016b), Fitzová *et al.* (2018), Karim e Fouad (2018) e Fitzová e Matulová (2020). A variável é bastante utilizada devido ao passageiro ser o foco da prestação do serviço do transporte público, ou seja, atender o desejo de se realizar a viagem para o destino atendida as necessidades de qualidade de serviço.

A outra variável utilizada como *output* é a receita tarifária utilizada por Zhu *et al.* (2016), Zhang *et al.* (2018) e Fitzová e Matulová (2020). A receita tarifária permite avaliar a

viabilidade da prestação do serviço, e assim como a quantidade de passageiros, representa o resultado da oferta do transporte público.

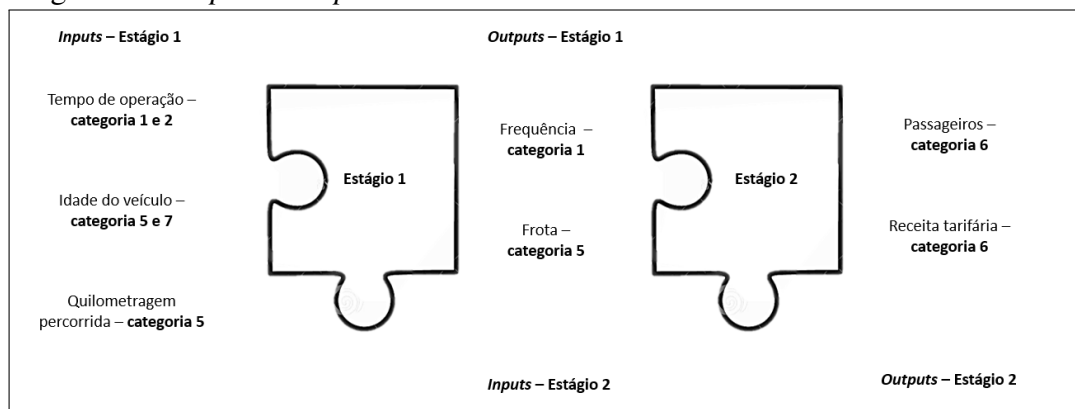
Com a obtenção das rotas eficientes é possível identificar os aspectos positivos da operação e para cada rota ineficiente é possível identificar as rotas eficientes de referência (*benchmarking*) e definir os objetivos de melhoria para torna-las eficientes.

5.2.2 Análise por rotas pelo método *Network DEA*

A análise de eficiência das rotas (subseção 5.2.1) permite avaliar a eficiência por comparação das rotas. No entanto, quando se pretende definir objetivos para cada rota de determinado operador, é necessário ter em conta que essa rota compartilha recursos com as demais rotas do operador de transporte. Deste modo, é necessário um modelo que para além de incluir a informação relativa aos *inputs* e *outputs* das rotas, considere características adicionais sobre o compartilhamento do recursos associados a um determinado operador, os quais podem ser redistribuídos entre as rotas.

Enquanto na etapa 1 a comparação é realizada entre todas as rotas independente do operador, nessa etapa é possível analisar o desempenho operacional entre as rotas de um mesmo operador que compartilhar os *inputs*. Além das variáveis utilizadas na etapa 1, é necessário acrescentar variáveis que sejam *outputs* do estágio 1 e *inputs* do estágio 2. A variável frequência (categoria 1) e a frota (categoria 5) representam a disponibilidade e o serviço ofertado de toda a empresa, respectivamente. O termo estágio refere-se ao sub-processo do *Network DEA*. A Figura 17 mostra os *inputs* e *outputs* utilizados em dois estágios.

Figura 17 – *Inputs e outputs* - Modelo *Network DEA*



Fonte: Elaborado pelo autor(2023).

Portanto, a análise pelo método *Network DEA* tem como objetivo uma análise

integrada com outros aspectos que não é possível apenas com a análise por rotas (etapa 1). Em complemento aos resultados obtidos na análise por rotas, é possível identificar objetivos mais factíveis de serem atingidos, como uma melhor alocação da frota e programação das rotas de cada operador. Tal análise tem importância, pois permite a verificação de disparidade da programação operacional pelos operadores, ou seja, quais implementaram uma melhor alocação para obtenção de melhores resultados intermediários (tempo de operação e quilometragem percorrida), e além disso, também atender uma maior quantidade de usuários e tornar a operação sustentável.

Assim como a etapa 1, essa etapa também analisa o desempenho operacional apenas as condições relacionada com a operação do transporte público, não considera outros aspectos como: socio-econômicos, população, uso do solo, dentro outros. É relevante a inserção de fatores externos, devido à ineficiência obtida ter relação com tais aspectos.

5.2.3 *Análise de fatores externos*

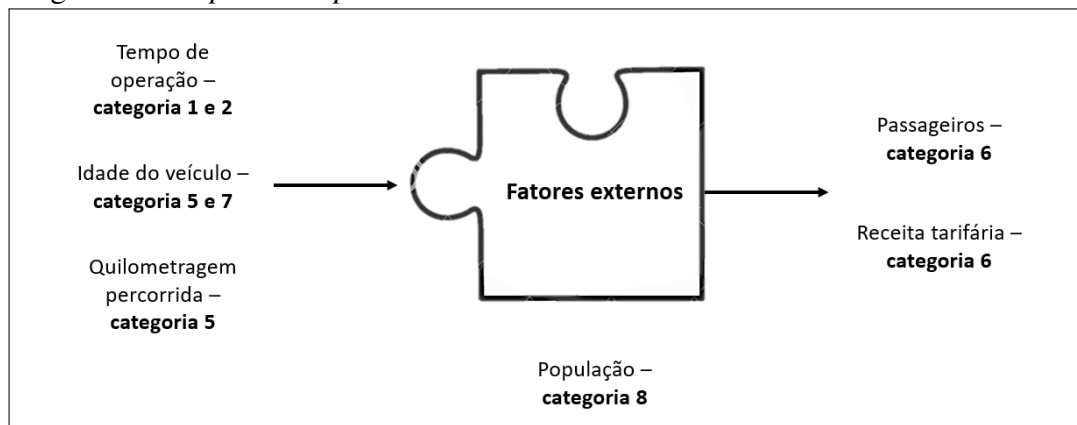
A inclusão de variável externa ajuda a compreender o impacto das condições socio-econômicas na operação do sistema de transporte público de passageiros, além disso permite uma comparação mais justa entre as rotas tendo em vista que considera fatores que condicionam a operação de maneira específica para cada rota.

Nesta etapa, utiliza-se um modelo de avaliação de desempenho que considera as condições externas na área de influência das rotas. Estas condições são denominadas por não discricionárias. A inclusão de fatores externos permite uma comparação mais justa entre os operadores/rotas. Assim, as DMUs em ambientes mais desfavoráveis não devem ser penalizadas por obter menos *outputs* ou eventualmente consumir mais *inputs*. A Figura 18 mostra os *inputs* e *outputs* com a inclusão da variável população que representa os fatores externos.

No transporte público, a população, características socio-econômicas e a concorrência são fatores externos que influenciam os resultados obtidos. A escolha da variável população se deve pelo fato do objetivo principal do sistema de transporte público de passageiros é atender os desejos dos usuários de realizar os deslocamentos para suprir as necessidades e pela maior facilidade de ter a informação por região de influência de cada rota. A população influencia positivamente os resultados da rota, por potencializar a quantidade de passageiros transportados da rota.

A comparação dos resultados da etapa 1 e 3 permite analisar o impacto do fator externo no desempenho operacional de cada rota. Com a comparação, verifica-se que as rotas

Figura 18 – *Inputs e outputs* - Modelo DEA fatores externos



Fonte: Elaborado pelo autor(2023).

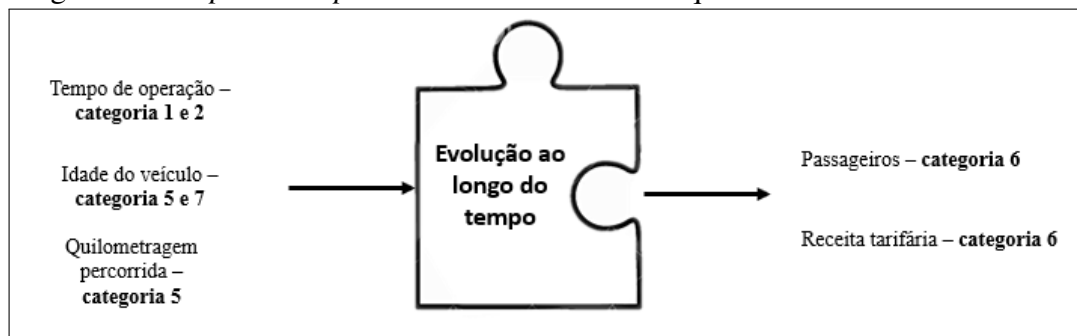
cuja eficiência é diferente são impactadas pelo efeito do fator externo (população).

5.2.4 *Análise da evolução do desempenho ao longo do tempo*

Nesta seção pretende-se avaliar a evolução do desempenho das rotas ao longo do tempo. Na avaliação de desempenho ao longo do tempo, têm que ser considerado os efeitos: a variação da eficiência técnica de cada DMU e a alteração da fronteira da tecnologia. A variação da eficiência técnica mede a evolução da capacidade de cada DMU em aproximar-se dos melhores níveis observados nas unidades de referência. A alteração da fronteira da tecnologia traduz a mudança tecnológica verificada no processo de produção entre dois períodos, resultante por exemplo da introdução de um novo equipamento ou melhorias do sistema de produção.

O objetivo da análise é comparar o desempenho das rotas entre períodos diferentes. A Figura 19 mostra os *inputs e outputs* para o período de 2016 à 2022.

Figura 19 – *Inputs e outputs* - Modelo Índice Malmquist



Fonte: Elaborado pelo autor(2023).

O índice Malmquist tem-se um método bastante utilizado na literatura para medir produtividade. As razões da sua grande utilização deve-se pelo fato de facilmente utilizar

múltiplos *inputs* e *outputs* e não necessitar da informação relativa dos preços dos *inputs* e *outputs*. Outra razão relaciona-se com o fato da decomposição do índice fornecer informações sobre as causas de variação da produtividade.

Em síntese, a melhoria da produtividade pode ocorrer devido a dois efeitos: a melhoria da eficiência técnica e/ou a melhoria da tecnologia. Assim, melhorias da componente da mudança de eficiência técnica são consideradas como evidência de capacidade da DMU atingir a eficiência enquanto que melhorias da tecnologia são consideradas como evidência de inovação.

5.3 Conclusão

A proposta metodológica visa realizar análise que compreenda diversos aspectos, sejam específicos a rota, seja espacial, temporal ou afetado por fatores externos. Com essa abordagem, é possível ter um melhor diagnóstico da prestação do serviço e evita ter o resultado com base em apenas um modelo.

A etapa de tratamento dos dados deve ser realizada com bastante critério e atenção para minimizar inconsistências nos dados, principalmente, no grande volume de dados gerados pelo sistema de bilhetagem eletrônica. Com os dados tratados, a próxima etapa é a escolha de quais dados serão utilizados e o que representam no modelo.

A seleção das variáveis para análise do desempenho busca abranger a maior gama possível das categorias, mas tendo como limitação a disponibilidade dos dados. Portanto, a escolha de quais variáveis serão utilizadas no modelo depende de qual objetivo se pretende avaliar e a disponibilidade.

A aplicação da metodologia permite que seja reavaliado o processo de planejamento de transporte público, e assim, realizar ajustes necessários. E além disso, contribui para transparência da operação seja para os usuários ou sociedade de maneira geral, e especificamente, para os operadores e gestores que necessitam diariamente de informações e dados para monitorar a prestação do serviço.

6 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA NO SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO DA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA (RMF)

O objetivo deste capítulo é aplicar a metodologia proposta no Capítulo 5 ao sistema de transporte público de passageiros da RMF a partir dos dados massivos.

A próxima seção apresenta a área de estudo com a caracterização do sistema de transporte público de passageiros e os principais dados operacionais. As seções 2, 3, 4 e 5 analisam os resultados obtidos da aplicação da metodologia apresentada no Capítulo 5. Por fim, finaliza com a conclusão e as implicações deste estudo.

6.1 Área de estudo

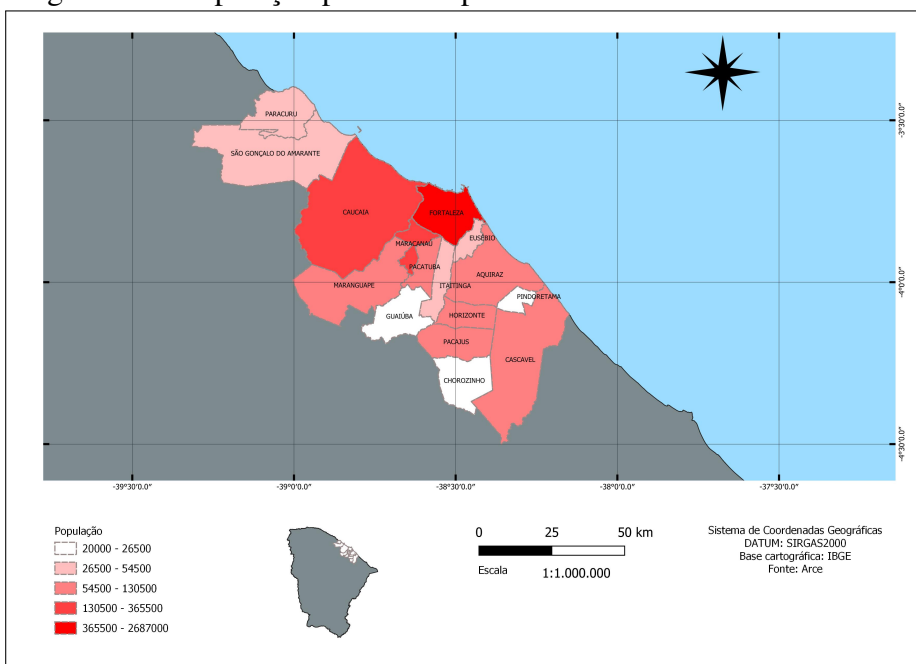
A área em estudo compreende municípios da RMF. O transporte público metropolitano é realizado, atualmente, por seis empresas que interligam 16 municípios no estado do Ceará: Fortaleza, Caucaia, São Gonçalo do Amarante, Maracanaú, Maranguape, Pacatuba, Guaiúba, Eusébio, Itaitinga, Aquiraz, Horizonte, Pacajus, Chorozinho, Pindoretama, Cascavel e Paracuru. A Figura 57 apresenta a distribuição da população nos municípios da RMF atendidos com transporte público metropolitano. A prestação do serviço exerce papel fundamental na integração dos municípios pertencentes à RMF, o que afeta diretamente as atividades econômicas desenvolvidas na região e entorno. A gestão e regulação do serviço é responsabilidade do Governo do Estado do Ceará, sendo delegado à Agência Reguladora do Estado do Ceará – Arce.

A operação do serviço é realizada com ônibus tipo urbano (com duas portas), o acesso ao veículo acontece pela porta dianteira, onde o usuário valida o cartão de transporte ou faz o pagamento em dinheiro ao funcionário (cobrador), que libera o equipamento de bilhetagem (validador). Há uma catraca integrada ao validador que funciona como barreira física e separa os usuários que já validaram a viagem. No sistema é registrado apenas dados do embarque, não há registro de desembarque. A política tarifária é definida através de zonas tarifárias, denominadas de anéis tarifários, onde há faixas de tarifas a depender da distância percorrida.

A maioria das atividades da RMF estão localizadas na capital, logo, parcela considerável da população de Fortaleza não utiliza o transporte público metropolitano, sendo evidenciado pelo fluxo de viagens: no pico manhã, ter destino a Capital e, no pico tarde, a origem da viagem.

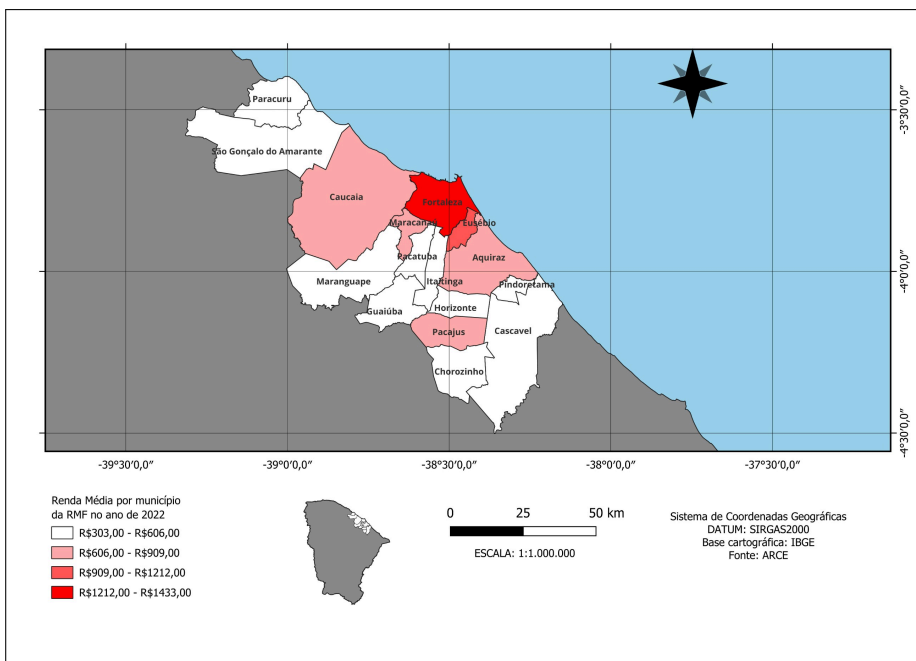
O serviço metropolitano é disponibilizado através de 59 rotas operadas por seis empresas, no ano de 2022, conforme dados disponibilizados pela Arce. A Figura 22 mostra as rotas de cada empresa do transporte público metropolitano.

Figura 20 – População por município da RMF no ano de 2022



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

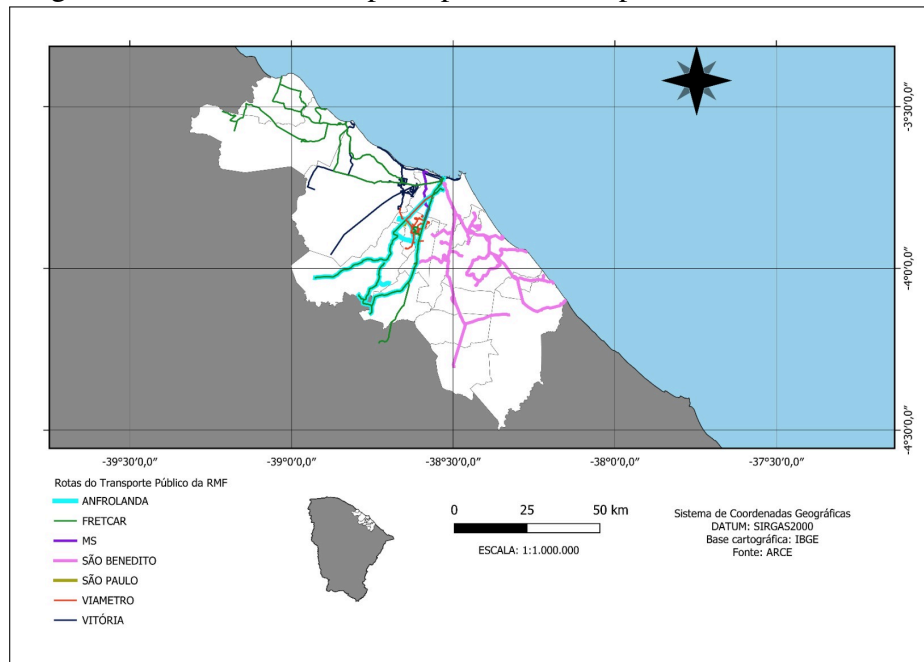
Figura 21 – Renda média per capita por município da RMF no ano de 2022



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

A quantidade de rotas em operação variou entre os anos de 2016 a 2022, conforme consta na Tabela 3 com a quantidade de rotas por empresa. Apesar da alteração da quantidade de rotas, com variação de 53 a 73, não houve mudanças significativas na rede, com exceção da empresa Fretcar, que deixou de operar a partir de 2022 devido a crise financeira e agravada pelas medidas de isolamento de combate a COVID19, principalmente, no ano de 2020. Como

Figura 22 – Rotas do transporte público metropolitano



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

a empresa Fretcar não operou em todos os meses de 2022, não foram consideradas as rotas operadas pela empresa para o ano de 2022. O estudo adota, de maneira a padronizar ao se referir às rotas, a nomenclatura de acordo com o Apêndice B.

Tabela 3 – Quantidade de rotas por empresa no período de 2016 a 2022

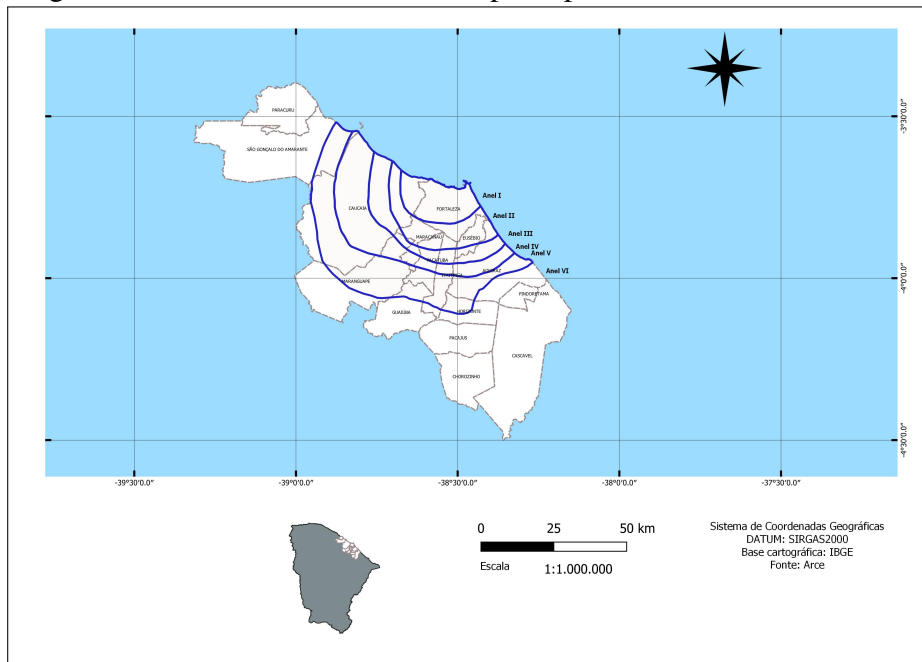
Empresa	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Vitória	23	24	21	25	16	21	21
São Benedito	14	15	15	16	12	14	14
Viametro	15	14	15	16	11	12	12
Fretcar	7	7	11	7	4	3	-
Penha	5	5	5	5	6	8	8
São Paulo	3	3	3	3	3	3	3
MS Turismo	1	1	1	1	1	1	1
Total	68	69	71	73	53	62	59

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Quanto à política tarifária, o valor pago é de acordo com o anel tarifário, conforme mostra a Figura 23. Para cada anel tarifário é um valor de tarifa, conforme 4, o que faz um sistema complexo, com regras de cobrança e valores distintos. O processo de revisão/reajuste tarifário é realizado com a periodicidade anual, onde se busca o equilíbrio econômico-financeiro do sistema com a apuração de dados de oferta, demanda e custos.

Com a caracterização do transporte público metropolitano da RMF, é possível compreender qual a população atendida, assim como os operadores e rotas que compõem a

Figura 23 – Anéis tarifários do transporte público da RMF



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Tabela 4 – Valor da tarifa
por anel tarifário em 2022

Anel	Valor da tarifa
I	R\$ 4,80
II	R\$ 5,90
III	R\$ 8,15
IV	R\$ 10,75
V	R\$ 12,45
VI	R\$ 17,20

Fonte: elaborado pelo autor
(2023).

prestação do serviço e a política tarifária responsável pela viabilidade do transporte público da região, tendo em vista que não há subsídio no período analisado.

A construção da base de dados das validações é referente a todo período de 2016 à 2022. Os dados foram fornecidos desagregados por dia, sendo necessário a junção para a construção do banco de dados. A base de dados contém 246,1 milhões de registros (70,3 Gb). Além da base de dados de validações, é necessário o cadastro das rotas que contém os itinerários, horários, tarifas e quilometragens. A construção da base de dados de bilhetagem foi feita com 28 colunas, apresentada na Tabela 5.

O pré-processamento e o processamento foram realizados em um *notebook* com processador Core i7-3630QM CPU @ 2.4GHz e memória de 16 GB RAM; e utilizando os *softwares Studio3T* (STUDIO3T, 2020) e R (COMPUTING, 2020). O *software Studio3T* foi

utilizado para consolidação de todos os arquivos em uma única base, além da construção do banco e gerenciamento dos dados; e o software R para análise dos dados filtrados da base do *Studio3T*.

Tabela 5 – Descrição das colunas da base de dados de bilhetagem

Nome do campo	Descrição
data_arq	Data de processamento do arquivo
data_mov	Data de referência das passagens
tipo	Categoria da linha
código	Código da empresa responsável pelo veículo
modalidade	Código para identificação da empresa do veículo
NumVei	Identificação do veículo
Dados da linha	
NumLin	Identificação da linha
jornada	Código da jornada
num_operador	Código de Identificação do operador
tabela	Código de Identificação da tabela
hora_abertura	Data/Hora da abertura da jornada
hora_fechamento	Data/Hora do fechamento da jornada
Dados da viagem	
data_hora_abertura	Data/Hora da abertura da viagem
data_hora_fechamento	Data/Hora do fechamento da viagem
catraca_inicio	Nº inicial da catraca do veículo no início da viagem
catraca_final	Nº final da catraca do veículo no fim da viagem
sentido	Sentido da viagem
ponto_abertura	Código do ponto de abertura da viagem
ponto_fechamento	Código do ponto de fechamento da viagem
Dados da validação	
evento	Código de identificação do evento de passagem
cartão	Número do cartão
matrícula	Código de identificação do usuário
tipo	Tipo do cartão do usuário
data_hora	Data/Hora da passagem do usuário
valor_pago	Valor debitado do cartão do usuário
subsídio	Valor do subsídio da passagem devido à integração
integração	Identificação se houve uma integração
sigben	Identificação se foi um evento de sigben

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Além da base de dados de bilhetagem, onde constam o registro das validações, são necessários: a base de dados cadastro dos usuários e tabelas auxiliares com identificação dos códigos apresentados na base de dados bilhetagem (serviço urbano ou metropolitano, nome da empresa, serviço complementar ou regular, tipo de usuário com base no cartão, etc.).

Antes de proceder a análise faz-se necessária uma varredura nos dados brutos. Na construção do banco de dados da quantidade de viagens (etapa 1) foram constatadas *outliers*, logo foram excluídas da base (etapa 2). Na análise exploratória foram constatados valores extremos de tempo de operação, inferiores ao que seria necessário para realização da viagem completa, e elevados, que não seriam razoáveis para operação; logo, não é aceitável incluir dados que são inviáveis de serem executados na operação. Portanto, foram excluídos os registros com tempo de viagem menor do que o tempo de viagem a ser realizado com a velocidade da via, que é de 60 km/h. O estudo utilizou o método de 3 sigmas para retiradas de *outliers* para as variáveis tempo de operação, quantidade de validações e viagens.

A fase seguinte foi de selecionar apenas os registros de dias úteis, sendo excluídas viagens realizadas nos feriados e finais de semana, por apresentarem comportamento diferente dos dias úteis (etapa 3). Como o objetivo é analisar as rotas regulares, foram excluídas rotas que não tiveram operação durante todo o ano (etapa 4). A Tabela 6 apresenta a quantidade de dados remanescentes após a aplicação de todas as etapas de pré-processamento da construção da base até a limpeza dos dados.

Tabela 6 – Dados resultantes das etapas de pré-processamento dos dados do sistema de bilhetagem

Etapa	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
1. Construção da base de dados	1.307.043	1.309.493	1.220.498	1.176.309	683.971	757.634	811.309
2. Exclusão de <i>outliers</i>	1.079.537	1.079.941	1.028.157	965.857	614.075	677.839	685.941
3. Exclusão de feriados e finais de semana	810.479	814.921	814.892	730.367	475.067	515.687	526.602
4. Exclusão de linhas não regulares	806.565	805.283	753.370	720.836	429.743	501.355	516.207

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Após o tratamento dos dados, passou-se para a etapa de processamento das variáveis a serem utilizadas na aplicação da metodologia. Foram utilizadas 5 variáveis para análise do desempenho operacional, citadas no Capítulo 5.

Foram calculadas a estatística descritiva das variáveis, no período de 2016 à 2022, o que permite ter uma visão global dos valores e as variações de cada variável no ano e em todo o período. Na análise de cada variável, é interessante comparar a evolução ao longo do período, assim como entre o período de 2020 e 2022, tendo em vista que em 2020 a prestação do serviço foi significativamente impactada pelas medidas de isolamento de combate a COVID19.

A Tabela 7 apresenta o tempo de operação ao longo dos anos, sendo possível perceber a redução de todas os parâmetros quando comparado 2016 e 2022. A redução do tempo de operação demonstra que houve redução da oferta em mais de 30%, de 2016 à 2022. Esta redução acentuada, merece atenção para analisar quais impactos no desempenho da operação, e além disso, se a redução ocorreu em todas as rotas e de maneira homogênea na região, além de realizar análise em conjunto com as outras variáveis. Os valores da média e mediana de todas as rotas por ano são diferentes, apesar disso para cada rota os valores são similares.

Tabela 7 – Estatística descritiva do tempo de operação - em horas

Estatística descritiva	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Média	13.229	13.016	12.548	11.496	9.938	9.919	10.024
Mediana	9.897	8.821	5.713	6.929	6.638	3.789	4.012
Desvio Padrão	12.031	12.036	13.761	10.853	8.431	9.916	9.785
Mínimo	429	618	651	574	88	354	372
Máximo	53.296	53.046	62.641	36.252	30.187	39.801	37.165
Soma	899.576	898.131	890.934	839.250	526.723	615.007	591.436

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Quando a variável tempo de operação é desagregada por empresa, tem-se variações de redução de 15% (empresa Vitória) até 54% (empresa MS Turismo), ou seja, a redução foi diferente em magnitude para cada empresa, consequentemente, para cada região atendida. Tal análise sinaliza que determinadas áreas tiveram maior intensidade da redução da oferta.

No ano de 2020, houve a maior redução do tempo de operação, aumentando nos anos seguintes. Em 2022, o sistema de transporte público metropolitano já teve aumento de 12% do tempo de operação, com a empresa Vitória com maior aumento de 31%, seguida pela empresa Anfrolanda com 16%.

Em relação a idade do veículo, a Tabela 8 apresenta a estatística da variável por ano. Diferente do tempo de operação, não houve grande variação na idade do veículo. Enquanto no

tempo de operação houve redução de 30%, na idade do veículo foi de 16% para o período em estudo motivada pela redução da frota em operação. Além disso, a variável deve ser analisada conjuntamente com a quantidade de veículos e viagens utilizadas em cada ano, pelo fato que a redução da frota e das viagens afeta a variável, ou seja, com a redução da oferta tem-se a diminuição da frota necessária para realizar a programação planejada.

Tabela 8 – Estatística descritiva da idade do veículo - em anos

Estatística descritiva	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Média	42.913	45.509	47.307	43.790	38.272	38.962	40.598
Mediana	33.797	32.965	30.228	34.876	30.660	23.182	26.428
Desvio Padrão	40.659	42.481	47.619	36.913	30.380	38.879	37.844
Mínimo	2.390	3.064	3.202	2.600	344	1.188	1.401
Máximo	227.787	236.107	187.408	134.533	136.231	193.201	131.257
Soma	2.918.126	3.140.127	3.358.840	3.196.696	2.028.453	2.415.650	2.395.334

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Na análise da variável por empresa, é possível perceber que 3 das 7 empresas tiveram aumento da idade do veículo, de 2016 para 2022, os dados constam no apêndice C. Para 2020 e 2022, todas apresentaram aumento da idade da frota devido ao envelhecimento dos veículos motivado pela não renovação da frota, assim como, pelo aumento da oferta.

O envelhecimento da frota afeta a qualidade do serviço prestado, tendo em vista que com veículos com maior idade é necessário maior gasto com manutenção e aumenta a quantidade de problemas mecânicos que prejudica o cumprimento da programação operacional planejada.

A estatística da quilometragem percorrida é apresentada na Tabela 9. Também relacionada a oferta da prestação do serviço, assim como o tempo de operação. Houve uma redução de quase 50% de 2016 à 2022 da quilometragem total, tendo afetado todas as empresas, com variação entre 17% (Anfrolanda) à 68% (MS Turismo).

Tabela 9 – Estatística descritiva da quilometragem percorrida - em km

Estatística descritiva	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Média	344.577	336.818	305.941	268.929	224.496	216.192	214.912
Mediana	258.310	243.933	170.610	178.728	172.498	120.101	126.000
Desvio Padrão	393.160	375.352	341.203	252.192	189.646	213.468	203.021
Mínimo	7.448	8.414	8.445	8.197	1.377	4.802	4.647
Máximo	2.763.951	2.584.458	1.695.167	1.238.160	870.196	965.537	800.403
Soma	23.431.300	23.240.455	21.721.839	19.631.868	11.898.291	13.403.947	12.679.840

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Apesar da redução da quilometragem entre 2016 e 2022, há um crescimento em

relação à 2020, tendo a empresa Vitória com maior crescimento 36% de 2020 à 2022. Assim como já ficou evidenciado com as outras variáveis, a oferta do transporte público na Região Metropolitana de Fortaleza teve uma forte redução nos últimos 7 anos potencializada pela pandemia.

Tal diagnóstico alerta para a necessidade de medidas a serem implementadas para que o serviço continue a atender os desejos de deslocamentos da população com qualidade e desempenho adequado e viabilidade da operação para manutenção do equilíbrio sustentável.

A Tabela 10 apresenta a receita tarifária ao longo dos anos, onde constata-se redução de mais de 50% de 2016 à 2022, ou seja, em termos de receita tarifária, a demanda reduziu pela metade. Já a oferta, conforme as variáveis tempo de operação e quilometragem percorrida tiveram redução de 30% (tempo de operação) e quase 50%, respectivamente. Com base nessas variáveis, a demanda teve maior redução do que a oferta para o período em análise. A redução da receita tarifária impacta na prestação do serviço, seja na qualidade ou quantidade, devido ao fato que o valor arrecadado é responsável para manutenção do serviço ofertado, tendo em vista que o transporte público metropolitano não foi subsidiado no período.

Tabela 10 – Estatística descritiva da receita tarifária

Estatística descritiva	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Média	2.506.601	2.272.677	2.069.986	1.866.064	1.214.736	1.256.400	1.332.475
Mediana	1.590.950	1.432.024	1.001.396	965.936	952.983	574.738	671.289
Desvio Padrão	2.485.837	2.290.112	2.399.277	1.894.905	1.058.207	1.297.025	1.353.761
Mínimo	15.049	12.186	11.973	10.876	12.403	13.938	13.242
Máximo	10.190.596	9.956.361	10.384.786	7.146.776	3.928.940	5.304.576	5.445.283
Soma	170.448.912	156.814.764	146.969.065	136.222.694	64.381.033	77.896.859	78.616.030

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

A comparação da receita tarifária por empresa mostra a variação de redução de 68% da empresa MS Turismo a 66% da empresa São Benedito. Em relação à 2020, já é possível perceber o aumento da receita de 22% para todo o serviço, com destaque para as empresas Vitória com 42% e Anfrolanda com 36% de aumento.

A outra variável relacionada a demanda é a quantidade de passageiros. A Tabela 11 mostra a variação de passageiros ao longo dos anos. Assim como a receita tarifária, também teve redução (quase 50%).

As empresas MS Turismo e São Benedito foram as que apresentaram maior redução da quantidade de passageiros com 65% e 58%, respectivamente. A variação entre 2020/2022

Tabela 11 – Estatística descritiva da quantidade de passageiros

Estatística descritiva	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Média	460.413	434.320	427.409	402.957	283.062	265.291	298.168
Mediana	243.085	216.250	183.230	193.343	176.916	87.769	99.822
Desvio Padrão	504.096	484.876	533.711	460.263	285.015	307.358	339.442
Mínimo	9.007	8.550	5.099	3.344	3.318	5.289	7.155
Máximo	2.122.737	2.033.771	2.073.660	1.943.347	1.077.500	1.317.258	1.389.964
Soma	31.308.101	29.968.057	30.346.063	29.415.844	15.002.300	16.448.065	17.591.929

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

mostra aumento de passageiros de 17% em todo o serviço, com destaque para as empresas Vitória com 31% (empresa responsável pelo transporte de aproximadamente 50% dos passageiros do serviço) e São Benedito com 27%.

Pelas estatísticas das 5 variáveis, nota-se a redução da oferta acompanhou a redução da demanda. Um alerta para os valores citados, é com relação a elevada variação da oferta e demanda ao longo dos anos, que afeta a qualidade do serviço, não sendo possível atender a população de maneira adequada.

A análise da estatística descritiva das variáveis já demonstra alguns pontos a serem analisados quando obtido o desempenho operacional, se a variação da oferta/demanda afetou o desempenho e quais empresas/rotas foram as mais afetadas.

Com a base de dados processada e as variáveis selecionadas, a próxima etapa é a aplicação da metodologia, com a descrição dos *inputs* e *outputs* escolhidos e os resultados e discussões de cada análise realizada.

6.2 Análise por rotas - modelo clássico

O método DEA clássico com retorno variável de escala foi utilizado para a análise da eficiência operacional das rotas. As variáveis consideradas são: 3 *inputs* (tempo total de operação, idade do veículo e quilometragem percorrida) e 2 *outputs* (quantidade de passageiros e receita tarifária). O apêndice C contém as variáveis utilizadas para obtenção do índice de eficiência.

Os resultados obtidos do método para cada ano são apresentados na Tabela 12. Em 2021 foi o ano que teve mais rotas eficientes (17) e a segunda maior média (0,814) do índice de desempenho operacional. Uma possível causa desse resultado pode ser devido a redução acentuada da operação em 2020, sendo o aumento da oferta de 2020/2021 acontecendo de

maneira gradual e acompanhado do aumento da demanda, conforme Tabelas 7, 9 e 11. O Apêndice D contém o índice de desempenho operacional para cada rota.

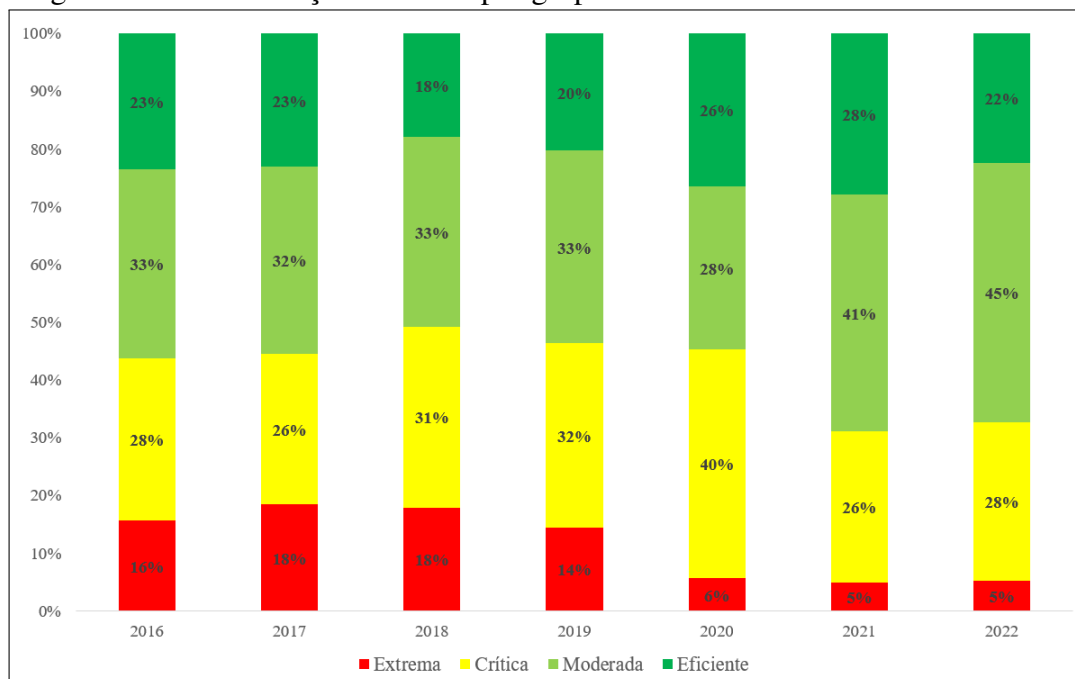
Tabela 12 – Análise de desempenho operacional das rotas de ônibus - modelo clássico

Descrição	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Quantidade de rotas	64	65	67	69	53	61	58
Rotas eficientes	15	15	12	14	14	17	13
Média	0,759	0,753	0,739	0,752	0,783	0,814	0,820
Mediana	0,776	0,784	0,765	0,768	0,810	0,843	0,858
Desvio Padrão	0,222	0,215	0,216	0,195	0,204	0,182	0,171
Mínimo	0,216	0,290	0,287	0,331	0,129	0,256	0,337

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

As rotas eficientes servem como referência (*benchmarking*) para as demais ineficientes. Para uma análise detalhada, foi dividida as rotas ineficientes em 3 grupos: grupo com ineficiência extrema com índice de desempenho entre 0 e 0,499; grupo com ineficiência crítica com índice entre 0,5 e 0,749; e grupo com ineficiência moderada com índice entre 0,75 e 0,998. A Figura 24 apresenta a divisão por grupo do índice de eficiência operacional para cada ano.

Figura 24 – Classificação das rotas por grupo de eficiência



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

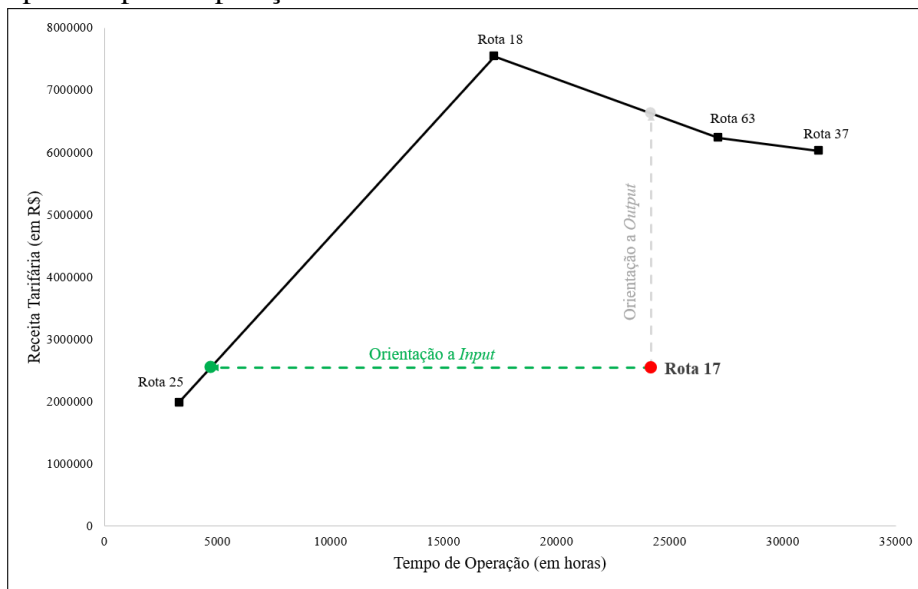
Para analisar os resultados detalhados, foi selecionado uma rota de cada grupo de ineficiência e analisado os *benchmarking* e a distância para a fronteira de eficiência. Os resultados por grupo permite saber os principais pontos de ineficiência e as necessidades de melhorias.

Grupo com ineficiência extrema

As rotas com ineficiência extrema eram 10 em 2016 e foi reduzido para 3, em 2020, permanecendo em 2021 e 2022. A rota 17 operada pela empresa São Benedito foi a mais ineficiente em 2016 com índice de eficiência de 0,216, tendo como referência as rotas 18 e 25 também operadas pela São Benedito e as rotas 37 e 63 da empresa Viametro e Vitória, respectivamente.

A rota 25, que serve de *benchmarking*, apresenta melhor relação da receita tarifária e a utilização dos *inputs*. A Figura 25 mostra a relação entre o *output* receita tarifária e o *input* tempo de operação da rota 17 e das rotas eficientes que são *benchmarking*. Enquanto a rota 17 tem relação de R\$ 105,00 por hora de operação, a rota 25 possui R\$ 599,00 por hora, assim com as rotas 18, 37 e 63 apresentam valores maiores.

Figura 25 – Avaliação de *benchmarking* da rota 17 - Receita tarifária por tempo de operação em 2016



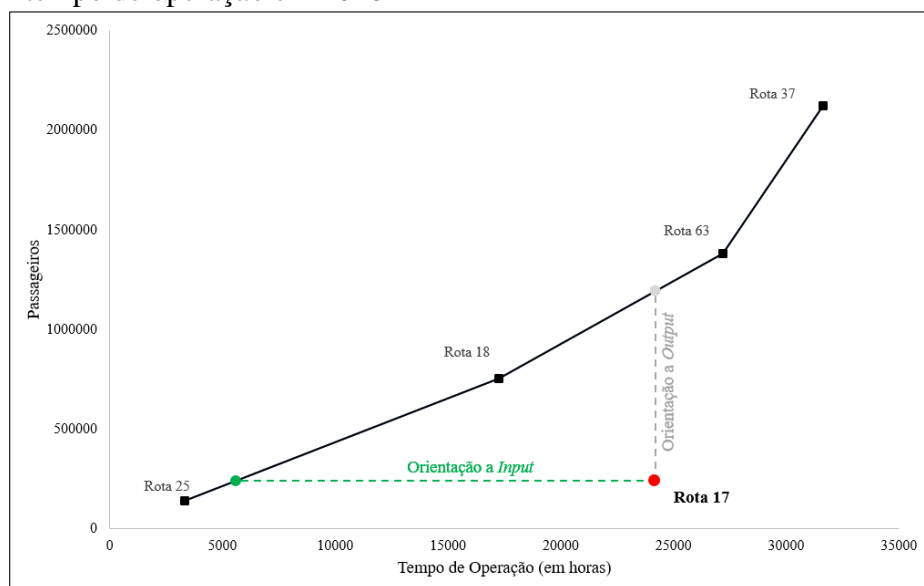
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

A comparação demonstra o quanto ineficiente é a rota 17 e o quanto pode ser melhorada a operação, tendo em vista que há rotas com desempenho muito superior, inclusive da mesma empresa. O baixo valor da receita tarifária/tempo é motivada pelo excesso de oferta para uma reduzida demanda. O valor da tarifa paga pelo usuário, conforme Figura 23, considera a distância percorrida, logo rotas com extensão semelhantes tem tarifas parecidas.

A mesma análise pode ser feita para o *output* quantidade de passageiros em relação aos *inputs*, destaque para rota 37 que dentre as DMUs de referência da rota 17, teve a melhor relação, conforme a Figura 26. Enquanto as DMUs de referência transportaram, em 2016, entre 40 e 70 passageiros por hora de operação, a rota 17 teve média de 10.

O desempenho operacional obtido pela rota 17 pode ser explicado pela ineficiência dos insumos para obtenção da demanda transportada, conforme relação da receita tarifária e passageiros com os insumos da rota.

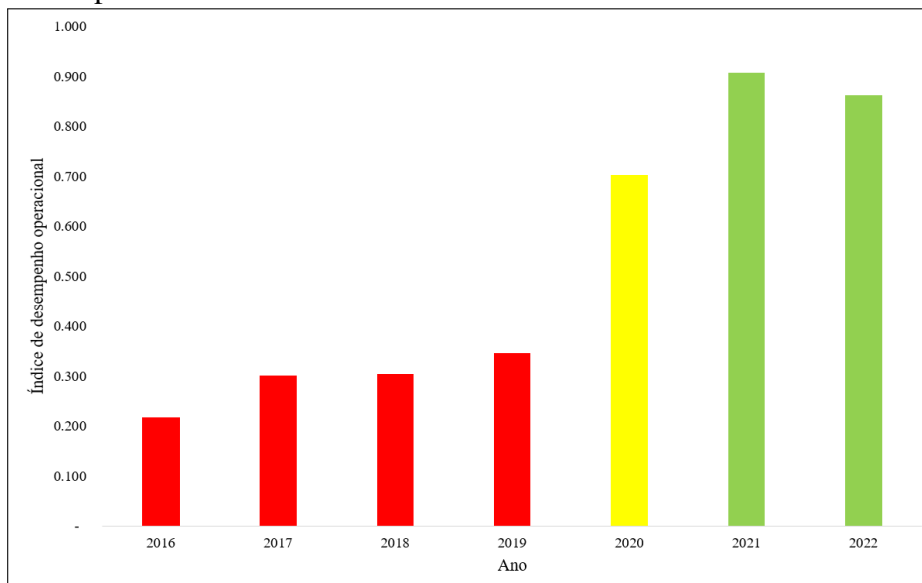
Figura 26 – Avaliação de *benchmarking* da rota 17 - Passageiros por tempo de operação em 2016



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Ao analisar o índice de desempenho operacional para os demais anos para a rota 17, é possível perceber a melhora da operação a partir de 2020, com pico em 2021 com valor de 0,907, conforme Figura 27. Enquanto a oferta foi reduzida, o tempo de operação em 12% e a quilometragem em 4%, a demanda teve forte aumento, a quantidade de passageiros em 47% e a receita tarifária em 28%, de 2016 à 2022, o que contribuiu para a melhora do desempenho no período.

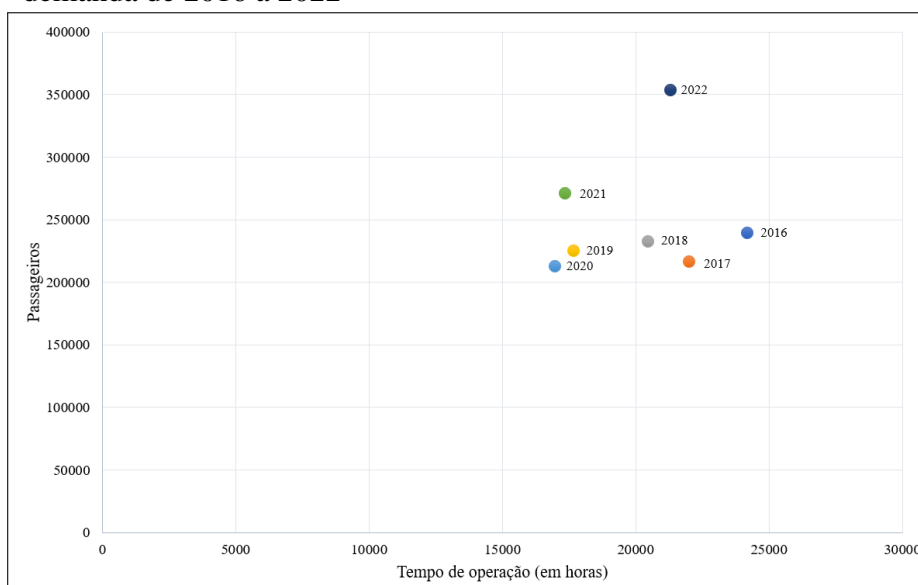
Figura 27 – Avaliação de *benchmarking* da rota 17 - Índice de desempenho operacional



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Apesar do desempenho operacional da rota ter melhorado, destaca-se que foram necessários 4 anos com desempenho ineficiente para a partir de 2020 apresentar valores próximos a eficiência relativa. A Figura 28 apresenta a relação oferta x demanda com base nas variáveis tempo de operação e passageiros da rota 17 de 2016 à 2020. A análise do índice de desempenho operacional e a relação da oferta x demanda da rota 17 mostra que entre 2016 à 2020 houve redução da oferta e a demanda não reduziu proporcionalmente. Em 2021, a demanda aumentou consideravelmente, em relação a 2020, e a oferta aumentou em menor proporção, ano em que a rota atingiu o pico do índice de eficiência no período.

Figura 28 – Avaliação de *benchmarking* da rota 17 - Evolução oferta x demanda de 2016 à 2022



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Como as rotas que estão neste grupo são as mais ineficientes, são necessários grandes alterações para que a rota seja eficiente. Logo, qualquer modificação deve ser realizada com atenção e em etapas, de maneira a suavizar impactos negativos que possam existir para o usuário que utiliza a rota.

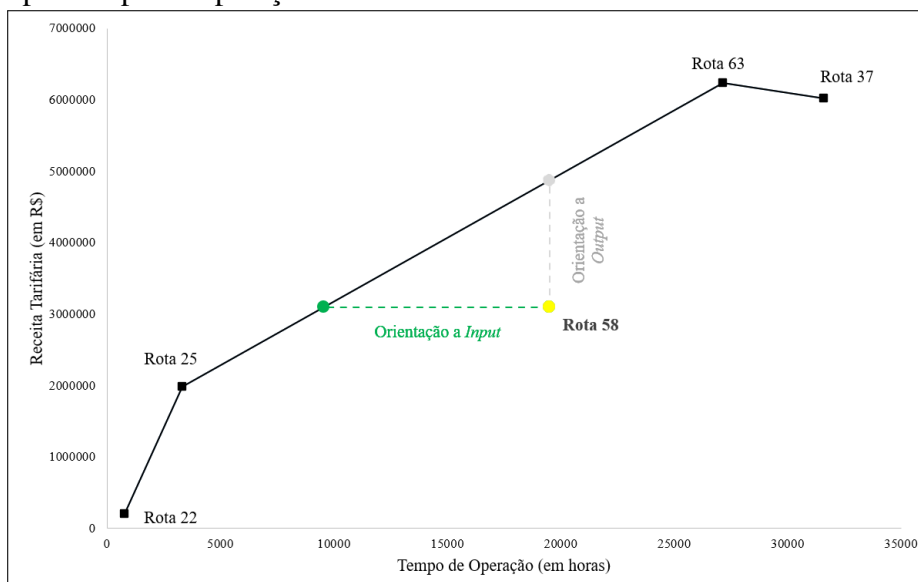
Grupo com ineficiência crítica

As rotas com ineficiência crítica eram 18 em 2016, teve aumento para 22 rotas, em 2019, e reduziu para 16, em 2022. A rota 58 operada pela empresa Vitória teve índice de eficiência de 0,681, em 2016, tendo como referência as rotas 22 e 25 também operadas pela São Benedito e as rotas 37 e 63 da empresa Viametro e Vitória, respectivamente.

A rota 25, que serve de *benchmarking*, apresenta melhor relação da receita tarifária e a utilização dos *inputs*. A Figura 29 mostra a relação entre o *output* receita tarifária e o *input*

tempo de operação da rota 58 e das rotas eficientes que são *benchmarking*. Enquanto a rota 58 tem relação de R\$ 158,98 por hora de operação, a rota 25 possui R\$ 599,27 por hora, assim com as rotas 22, 37 e 63 apresentam valores maiores.

Figura 29 – Avaliação de *benchmarking* da rota 58 - Receita tarifária por tempo de operação em 2016



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

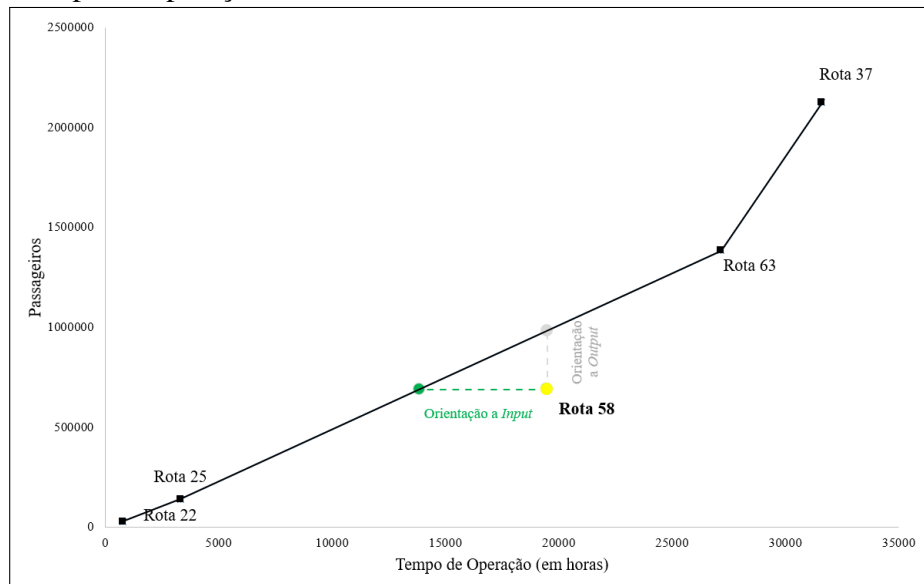
Assim como a rota 17, a rota 58 apresenta baixo valor da receita tarifária/tempo, em comparação com as demais rotas, é motivada pelo excesso de oferta para uma reduzida demanda.

A mesma análise pode ser feita para o *output* quantidade de passageiros em relação aos *inputs*, destaque para rota 37 que dentre as DMUs de referência da rota 58, teve a melhor relação, conforme a Figura 30. Enquanto as DMUs de referência transportaram, em 2016, entre 34 e 67 passageiros por hora de operação, a rota 58 teve média de 35, sendo maior do que a relação da rota 22, ou seja, em termos de passageiros por tempo de operação, a rota 22 não é referência para rota 58.

Diferente da análise do grupo de rotas de ineficiência extrema, é possível perceber que a rota 58 encontra-se mais próximo da fronteira de eficiência, tanto pelas Figuras 29 e 30, quanto pelo índice de desempenho da Figura 31. O desempenho operacional obtido pela rota 58 pode ser explicado pela ineficiência dos insumos para obtenção da demanda transportada.

Ao analisar o índice de desempenho operacional para os demais anos para a rota 58, é possível perceber a melhora da operação até 2018, depois tendo oscilação para em 2022 ser eficiente, conforme Figura 31. Pelos dados da operação da rota 58, nota-se a redução da frota de veículos utilizada de 143 para 132, enquanto, houve aumento da oferta, o quantidade de viagens

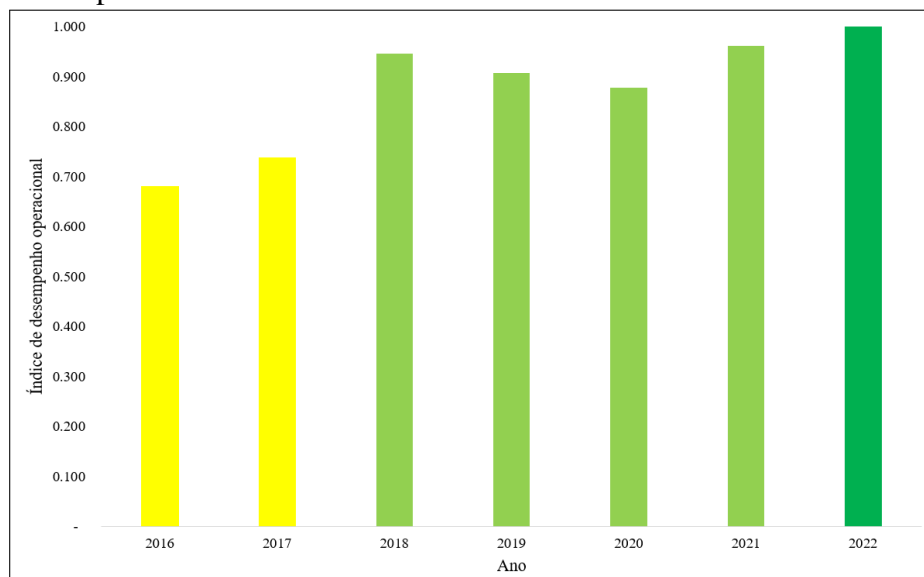
Figura 30 – Avaliação de *benchmarking* da rota 58 - Passageiros por tempo de operação em 2016



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

e da quilometragem percorrida em 12%, e da demanda, a quantidade de passageiros em 40% e a receita tarifária 23%, de 2016 à 2022, o que contribuiu para a rota se tornar eficiente.

Figura 31 – Avaliação de *benchmarking* da rota 58 - Índice de desempenho operacional

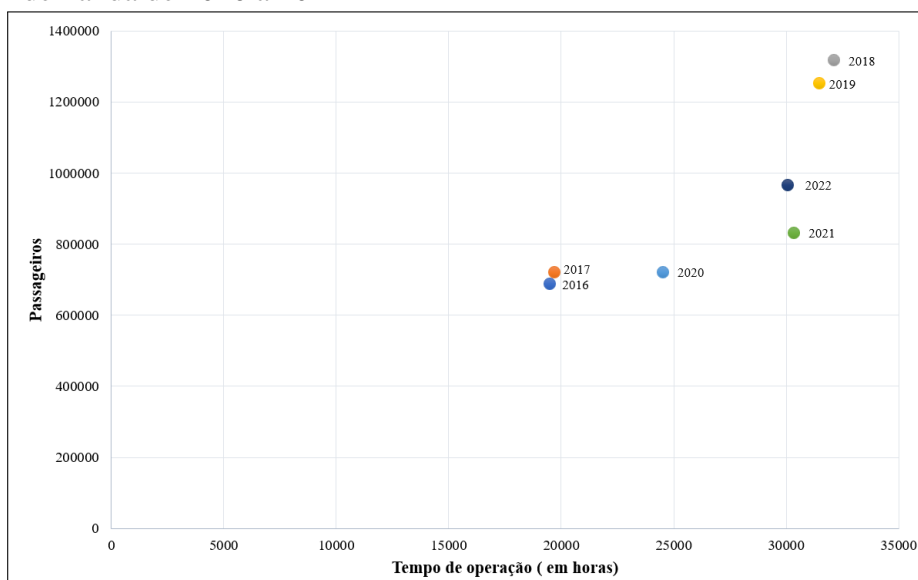


Fonte: elaborado pelo autor (2023).

A Figura 32 apresenta a relação oferta x demanda com base nas variáveis tempo de operação e passageiros da rota 58 de 2016 à 2022. A análise do índice de desempenho operacional e a relação da oferta x demanda da rota 58 mostra que entre 2016 à 2018 houve aumento significativo da oferta e da demanda. Em 2019, teve uma redução seguindo em 2020,

com queda acentuada da operação. No ano de 2022, houve um aumento de passageiros com pequena redução da oferta, fato que melhorou o índice de eficiência da rota.

Figura 32 – Avaliação de *benchmarking* da rota 58 - Evolução oferta x demanda de 2016 à 2022



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Grupo com ineficiência moderada

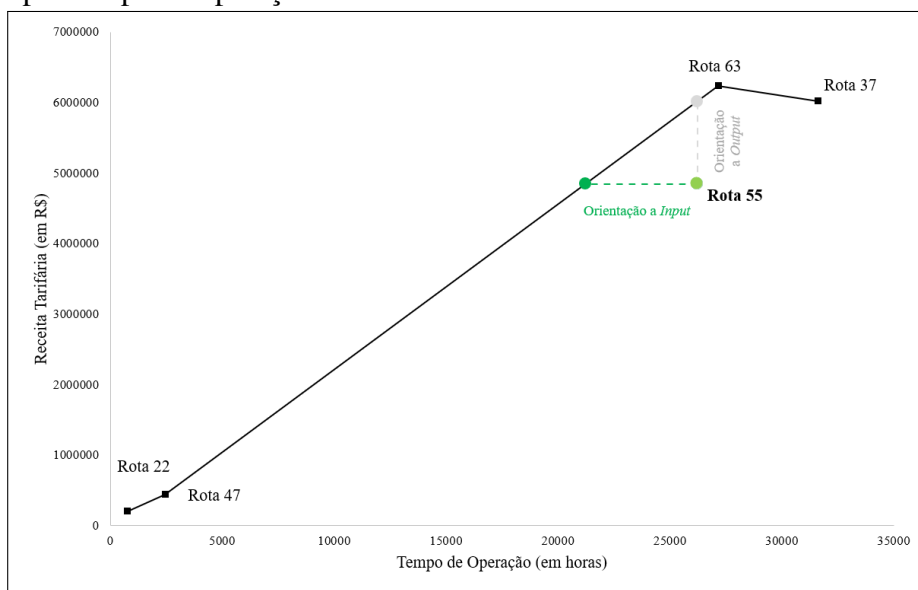
As rotas com ineficiência moderada eram 21 em 2016, teve aumento para 23 rotas, em 2019, e 26 rotas, em 2022. A rota 55 operada pela empresa Vitória teve índice de eficiência de 0,808, em 2016, tendo como referência as rotas 47 e 63 também operadas pela Vitória e as rotas 37 e 22 da empresa Viametro e São Benedito, respectivamente.

A rota 22, que serve de *benchmarking*, apresenta melhor relação da receita tarifária e a utilização dos *inputs*. A Figura 33 mostra a relação entre o *output* receita tarifária e o *input* tempo de operação da rota 55 e das rotas eficientes que são *benchmarking*. Enquanto a rota 55 tem relação de R\$ 184,70 por hora de operação, a rota 22 possui R\$ 263,00 por hora, apenas a rota 47 que apresenta valor menor, o que significa que a receita tarifária/tempo de operação da rota 47 não é referência para a rota 55 se tornar eficiente.

A comparação demonstra o quanto pode ser melhorada a operação da rota 55. Em comparação com as Figuras 25 e 29, a rota 55 é mais próximo da fronteira de eficiência.

A mesma análise pode ser feita para o *output* quantidade de passageiros em relação aos *inputs*, destaque para rota 37 que dentre as DMUs de referência da rota 55, teve a melhor relação, conforme a Figura 34. Enquanto as DMUs de referência transportaram, em 2016, entre 31 e 67 passageiros por hora de operação, a rota 55 teve média de 41, valor que supera as rotas

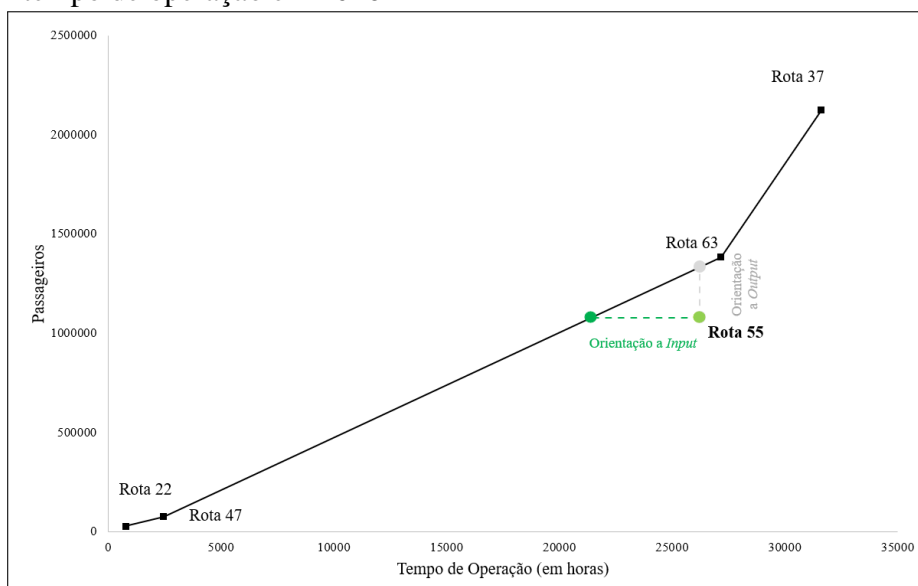
Figura 33 – Avaliação de *benchmarking* da rota 55 - Receita tarifária por tempo de operação em 2016



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

22 e 47 na relação passageiros/tempo de operação.

Figura 34 – Avaliação de *benchmarking* da rota 55 - Passageiros por tempo de operação em 2016

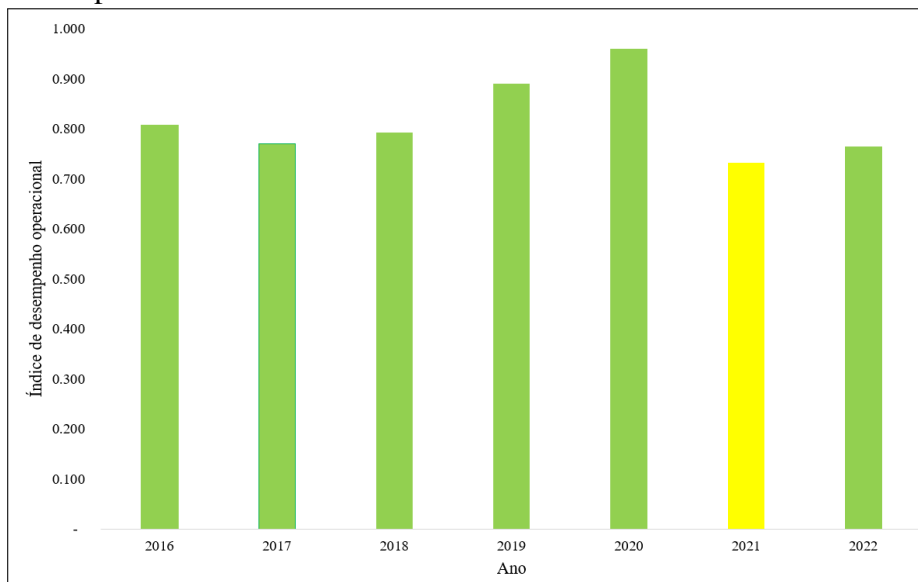


Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Ao analisar o índice de desempenho operacional para os demais anos para a rota 55, é possível perceber redução em 2017, e a partir de 2018 melhora da operação até 2020, com menor valor da série, em 2021, com valor de 0,732, conforme Figura 35. A oferta e demanda tiveram redução acentuada de 2016 à 2022, enquanto o tempo de operação em 43% e a quilometragem em 50%, a quantidade de passageiros em 59% e a receita tarifária 65%, fato que resulta na piora

do desempenho operacional da rota.

Figura 35 – Avaliação de *benchmarking* da rota 55 - Índice de desempenho operacional



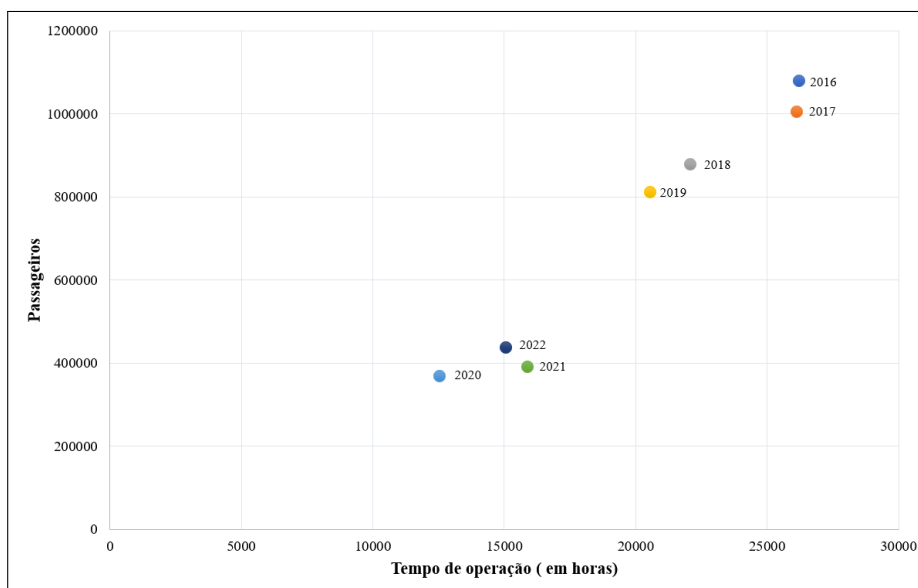
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

A rota 55, durante o período em análise, sempre ficou no grupo da ineficiência moderada, apenas em 2021 que atingiu o menor valor (0,732) e mudou para o grupo da ineficiência crítica. A Figura 36 apresenta a relação oferta x demanda com base nas variáveis tempo de operação e passageiros da rota 55 de 2016 à 2022. A análise do índice de desempenho operacional e a relação da oferta x demanda da rota 55 mostra que entre 2016 à 2020 houve redução da oferta e a demanda não reduziu proporcionalmente. Em 2021, a oferta aumentou consideravelmente, em relação a 2020, já a demanda aumentou em menor proporção. Além disso, a partir de 2021 a rota 55 apresentou o menor índice de desempenho do período, e apesar de ter melhorado em 2022, ainda está abaixo do desempenho dos anos anteriores.

Com as DMUs de referência e os dados desagregados das rotas, pode-se realizar uma análise detalhada da rota por período e faixa horária, o que permite demonstrar o período de maior ineficiência.

Portanto, uma readequação das viagens seja na quantidade, seja na mudança de horário possibilitará uma melhora na eficiência operacional. A análise pode ser aplicada as demais rotas e visualizar os pontos mais críticos a serem melhorados.

Figura 36 – Avaliação de *benchmarking* da rota 55 - Evolução oferta x demanda de 2016 à 2022



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

6.3 Análise por rotas - modelo *Network DEA*

Além das variáveis inseridas no modelo clássico, foram utilizadas as variáveis: frequência e frota. Conforme a Figura 17, o tempo de operação, idade do veículo e a quilometragem percorrida são os *inputs* do estágio 1, sendo os *outputs* a frequência e a frota. No estágio 2, os *inputs* foram os *outputs* do estágio 1 e os *outputs* foram a receita tarifária e a quantidade de passageiros, conforme Figura 17.

Os resultados do modelo são apresentados na Tabela 13. Enquanto no modelo clássico foram 13 rotas eficientes, em 2022, no *Network DEA* foram 11. Em geral, o modelo *Network DEA* é mais exigente do que o convencional, devido a obtenção de um melhor grau de eficiência ou eficácia que requer boas relações nos dois estágios. No entanto, no modelo convencional, é possível que haja compensações de forma que uma rota sempre alcance a fronteira de produção desde que, em termos globais, demonstre um comportamento superior para o resto, mesmo que tal superioridade não é demonstrada em todas as atividades que realiza.

Tabela 13 – Análise de desempenho operacional das rotas de ônibus - modelo *Network DEA*

Descrição	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Quantidade de rotas	64	65	67	69	53	61	58
Rotas eficientes estágio 1	5	6	5	3	7	4	8
Média estágio 1	0,641	0,655	0,614	0,648	0,723	0,658	0,694
Mediana estágio 1	0,664	0,718	0,641	0,657	0,714	0,633	0,696
Desvio Padrão estágio 1	0,218	0,230	0,227	0,191	0,206	0,180	0,197
Mínimo estágio 1	0,206	0,189	0,101	0,079	0,119	0,148	0,152
Rotas eficientes estágio 2	3	2	1	1	3	4	3
Média estágio 2	0,466	0,320	0,219	0,190	0,297	0,326	0,269
Mediana estágio 2	0,423	0,278	0,176	0,166	0,245	0,256	0,214
Desvio Padrão estágio 2	0,200	0,185	0,162	0,133	0,213	0,222	0,192
Mínimo estágio 2	0,163	0,080	0,057	0,055	0,102	0,128	0,100

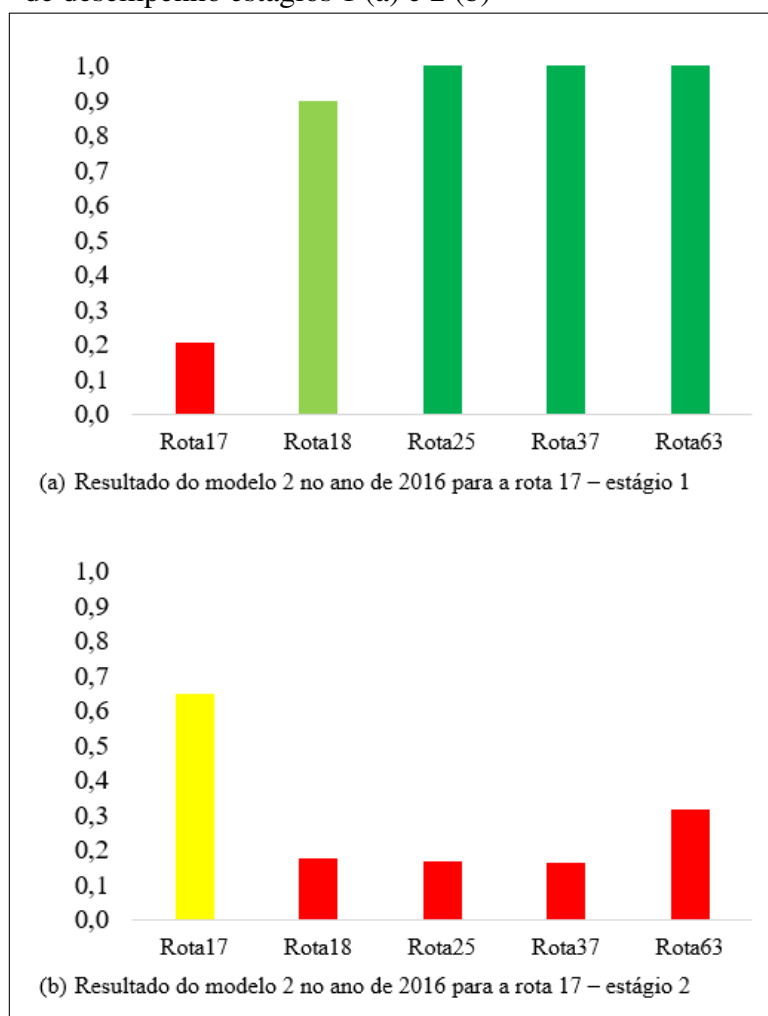
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Grupo com ineficiência extrema

O índice de eficiência para rota 17 foi de 0,206 e 0,645 para o estágio 1 e 2, respectivamente. Na Figura 37, é possível perceber que a diferença entre a rota 17 e as referências obtidas no modelo clássico é referente ao estágio 1, onde 3 das 4 rotas são eficientes e a rota 17 ineficiência extrema. Já no estágio 2, a rota 17 apresenta melhor índice quando comparado com as referências.

Os resultados mostram que deve ser analisado a possibilidade de melhor aproveitamento dos veículos utilizados na rota 17, assim poderia ofertar a mesma quantidade de horários com uma frota menor do que a utilizada na operação em análise.

Figura 37 – Avaliação de *benchmarking* da rota 17 - Índice de desempenho estágios 1 (a) e 2 (b)



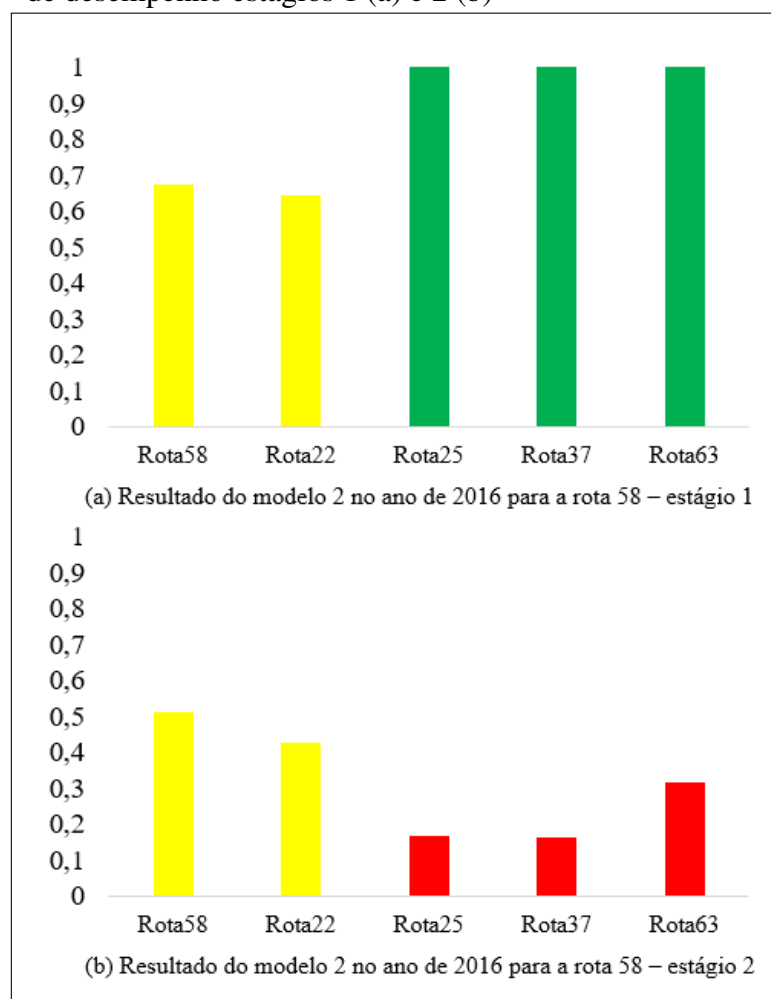
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Grupo com ineficiência crítica

No grupo de ineficiência crítica, o índice de eficiência para rota 58 foi de 0,678 e 0,512 para o estágio 1 e 2, respectivamente. Na Figura 38, é possível perceber que a diferença entre a rota 58 e as referências obtidas no modelo clássico é referente ao estágio 1, onde 3 das 5 rotas são eficientes e a rota 58 ineficiência crítica. Já no estágio 2, a rota 58 apresenta melhor índice quando comparado com as referências. Tal resultado é similar ao apresentado pela rota 17.

Os resultados mostram que deve ser analisado a possibilidade de melhor aproveitamento dos veículos utilizados na rota 58, assim poderia ofertar a mesma quantidade de horários com uma frota menor do que a utilizada na operação em análise.

Figura 38 – Avaliação de *benchmarking* da rota 58 - Índice de desempenho estágios 1 (a) e 2 (b)



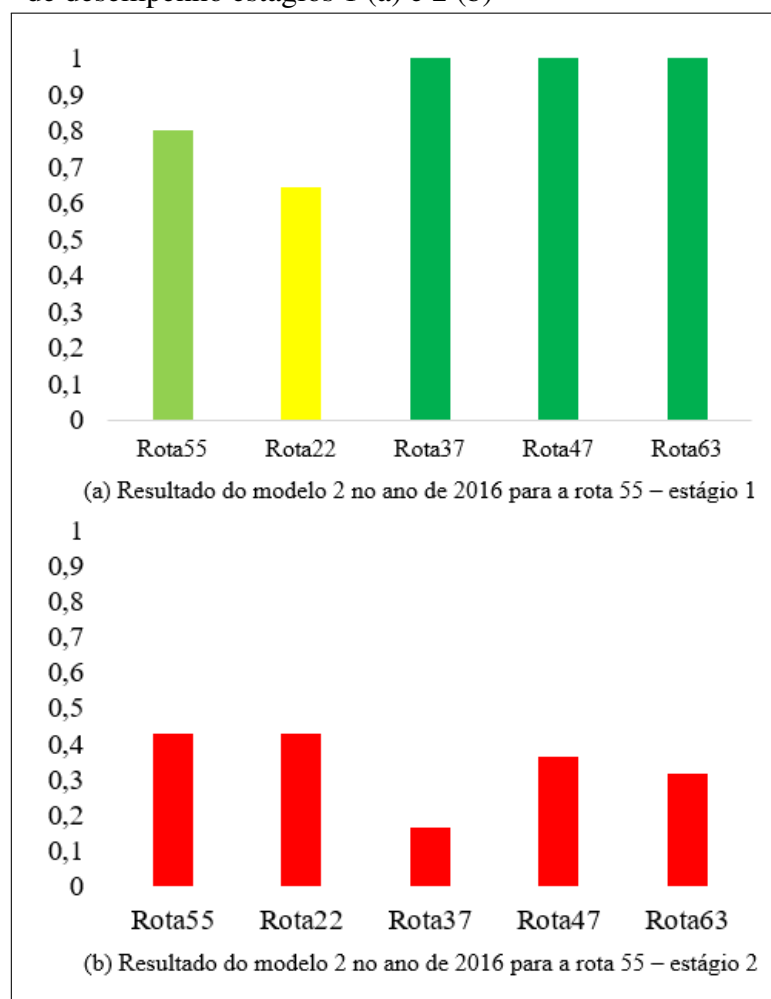
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Grupo com ineficiência moderada

No grupo de ineficiência moderada, o índice de eficiência para rota 55 foi de 0,808 e 0,800 para o estágio 1 e 2, respectivamente. Na Figura 39, é possível perceber que a diferença entre a rota 55 e as referências obtidas no modelo clássico é referente ao estágio 1, onde 3 das 5 rotas são eficientes e a rota 55 ineficiência moderada. No estágio 2, a rota 55 e as referências tem ineficiência extrema.

Os resultados mostram que deve ser analisado a possibilidade de melhor aproveitamento dos veículos utilizados na rota 55, assim poderia ofertar a mesma quantidade de horários com uma frota menor do que a utilizada na operação em análise.

Figura 39 – Avaliação de *benchmarking* da rota 55 - Índice de desempenho estágios 1 (a) e 2 (b)



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

6.4 Análise de fatores externos

Nas etapas 1 e 2, foram analisados o desempenho operacional com variáveis operacionais. Na etapa 3, foi inserida a variável externa população. Para a obtenção da população influenciada por cada rota, foi utilizado o *software* QGIS para somar toda a população dos setores censitários que a rota percorria no itinerário. Com as variáveis internas e a população foi obtido os resultados da etapa 3, conforme apresenta as principais estatísticas na Tabela 14.

Com a inclusão da variável população, é possível perceber que algumas rotas são impactadas no desempenho operacional por atender uma região com baixa quantidade de habitantes em relação as demais rotas. Isso permite que os gestores/operadores saibam que a melhora no desempenho de tais rotas é limitado, tendo em vista que a rota tem a função de fornecer transporte a regiões pouco adensadas.

Tabela 14 – Análise de desempenho operacional das rotas de ônibus - fatores externos

Descrição	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Quantidade de rotas	64	65	67	69	53	61	58
Média	1,695	1,698	1,667	1,648	1,682	1,478	1,320
Mediana	1,400	1,414	1,431	1,442	1,355	1,320	1,225
Desvio Padrão	0,779	0,687	0,596	0,535	1,302	0,572	0,259
Mínimo	1,083	1,110	1,016	1,131	1,097	1,0906	1,012

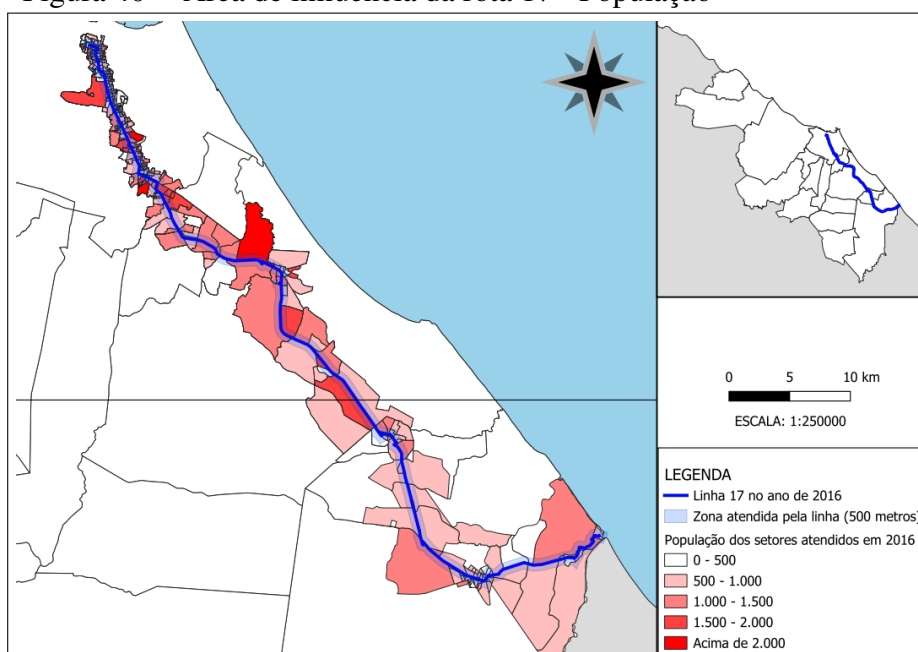
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Grupo com ineficiência extrema

A rota 17 pelo modelo que considera a população da área de influência de cada rota, teve o maior viés das rotas em análise, no ano de 2016, no valor de -0,716. Ao comparar a população da rota 17 com as rotas de referência, é possível perceber que apesar de ter a maior população na área de influência, 263.438 pessoas, a rota 17 apresenta relação oferta x demanda ineficiente como já demonstrado no modelo clássico, ou seja, o fator externo população não explica a ineficiência da rota.

A Figura 40 mostra o itinerário da rota 17 com a área de influência, delimitado por setores censitários do percurso da rota atendido até o raio de 500 m do itinerário da rota. A rota atravessa 5 municípios e tem no entorno o percurso setores censitários com região com adensamento.

Figura 40 – Área de influência da rota 17 - População

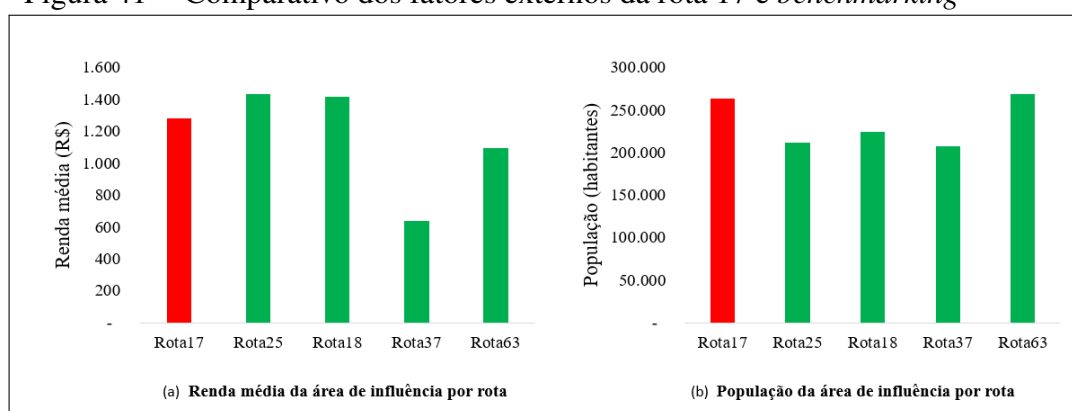


Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Como a rota 17 tem uma relação oferta x demanda ineficiente ao comparar com os *benchmarking* e maior população na área de influência, deve-se analisar a concorrência com outras rotas, a oferta planejada da rota e caso não seja possível melhorar o desempenho, analisar outros fatores externos que podem explicar a baixa demanda da rota em relação a população da área de influência.

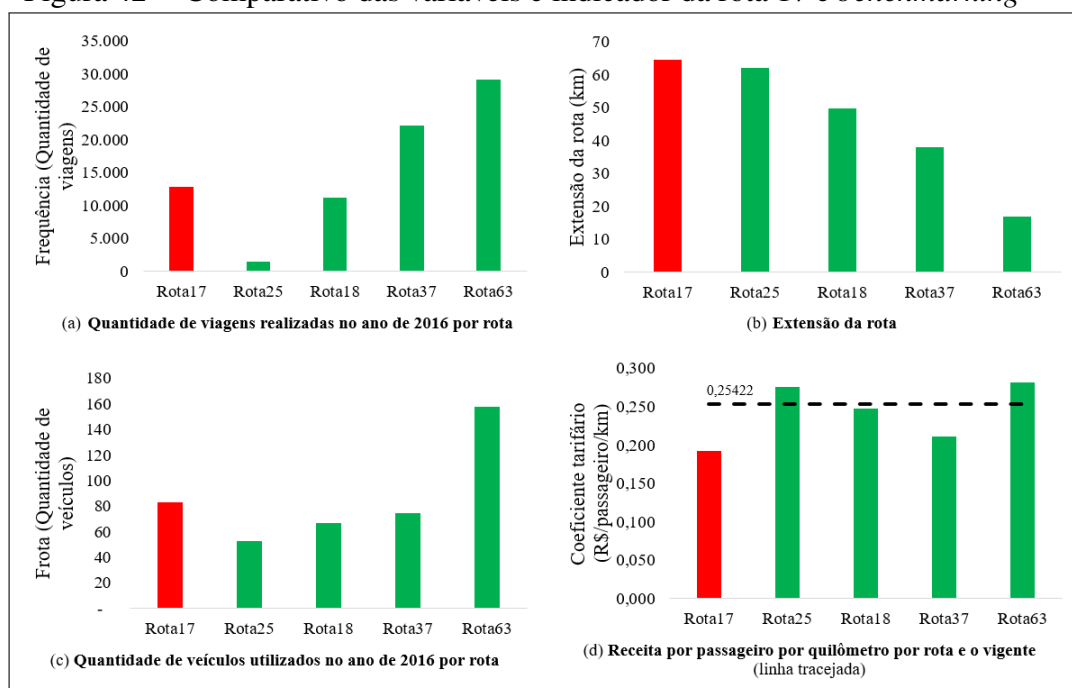
As Figuras 41 e 42 compara os fatores externos (população e renda média da área de influência) e variáveis da rota 17 e os *benchmarking* da rota. Os fatores externos da rota 17 não tem grande diferença das rotas de referência.

Figura 41 – Comparativo dos fatores externos da rota 17 e *benchmarking*



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Já as variáveis de operação mostram algumas evidências: apesar de ter extensão semelhante a rota 25, a oferta e a frota utilizada da rota 17 foram maiores, ou seja, a rota 17 tem maior custo de operação e ao comparar em relação ao coeficiente tarifário (Receita tarifária por passageiro e por quilometragem), torna-se evidente o menor valor da rota 17, em relação as demais rotas de referência e ao coeficiente tarifário vigente do sistema de transporte público da RMF.

Figura 42 – Comparativo das variáveis e indicador da rota 17 e *benchmarking*

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Outro aspecto a ser considerado na análise do desempenho da rota é com relação à política tarifária ser por anel tarifária, ou seja, considera a quilometragem percorrida. O fato de todo o percurso da rota ser adensado possibilita que pessoas realizem deslocamento em apenas parte do itinerário, fato que contribui para o aumento de demanda da rota, mas em relação a receita tarifária é apenas uma parte da tarifa, caso o passageiro realizasse o deslocamento completo da rota.

Grupo com ineficiência crítica

A rota 58 teve viés no valor de -0,103, no ano de 2016, o menor valor comparado as rotas de referências. A população da área de influência da rota 58 é a menor dentre as rotas de referências, ou seja, o fator externo população no índice de eficiência da rota 58, ou seja, a melhora da eficiência relativa da rota 58 não deve ser considerada apenas aspectos relacionados diretamente a operação.

As Figuras 44 e 45 compara os fatores externos (população e renda média da área de influência) e variáveis da rota 58 e os *benchmarking* da rota.

Quanto as variáveis relacionadas a operação, existe variação entre a rota 58 e as referências. A rota 63 é a que apresenta maior semelhança com a rota 58, sendo que a rota 63 transporta uma maior quantidade de passageiros e tem maior receita tarifária.

O coeficiente tarifário da rota 58 é maior do que o vigente, o que torna a rota viável,

Figura 43 – Área de influência da rota 58 - População

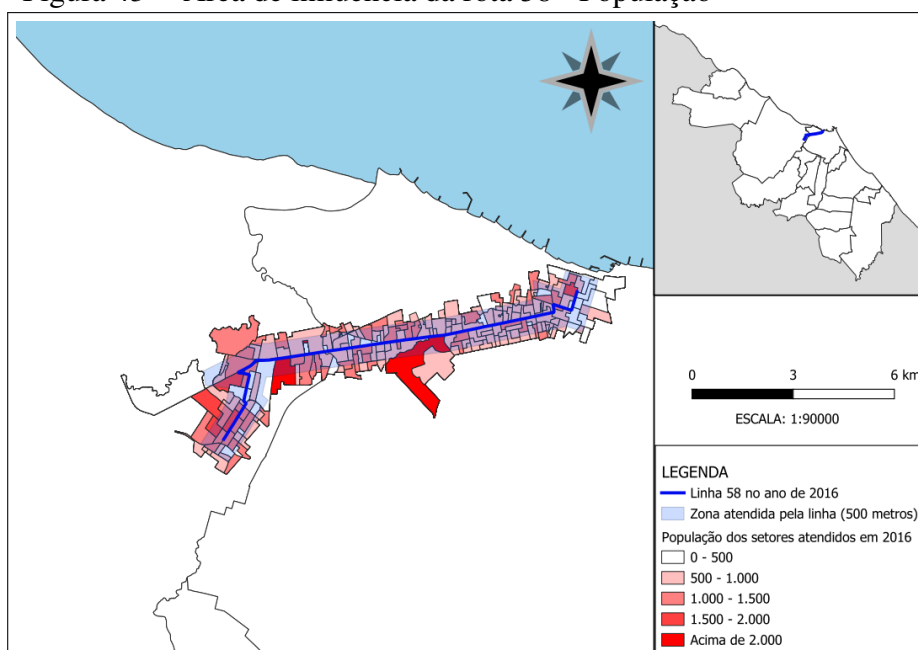
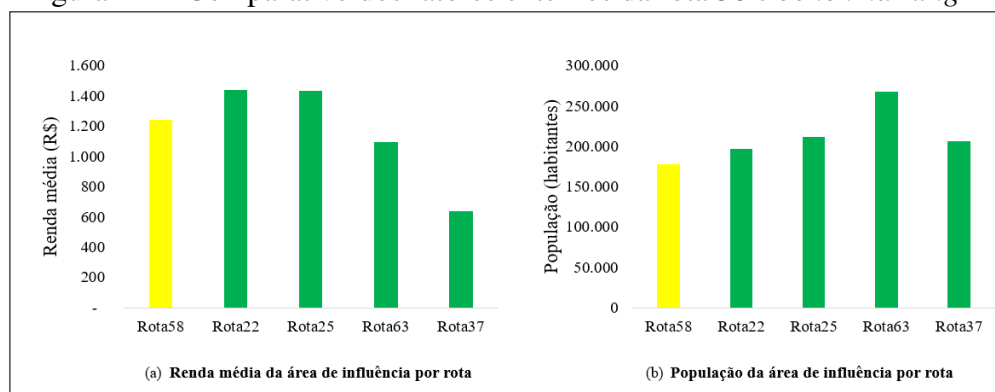


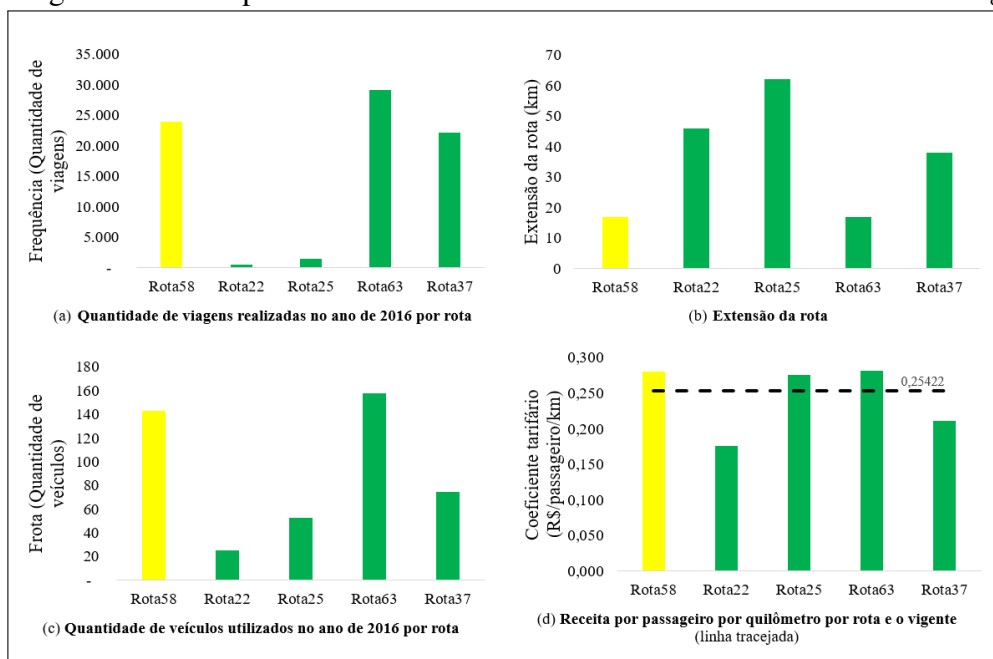
Figura 44 – Comparativo dos fatores externos da rota 58 e *benchmarking*



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

mas ainda com necessidade de melhorias para se tornar eficiente.

Figura 45 – Comparativo das variáveis e indicador da rota 58 e *benchmarking*

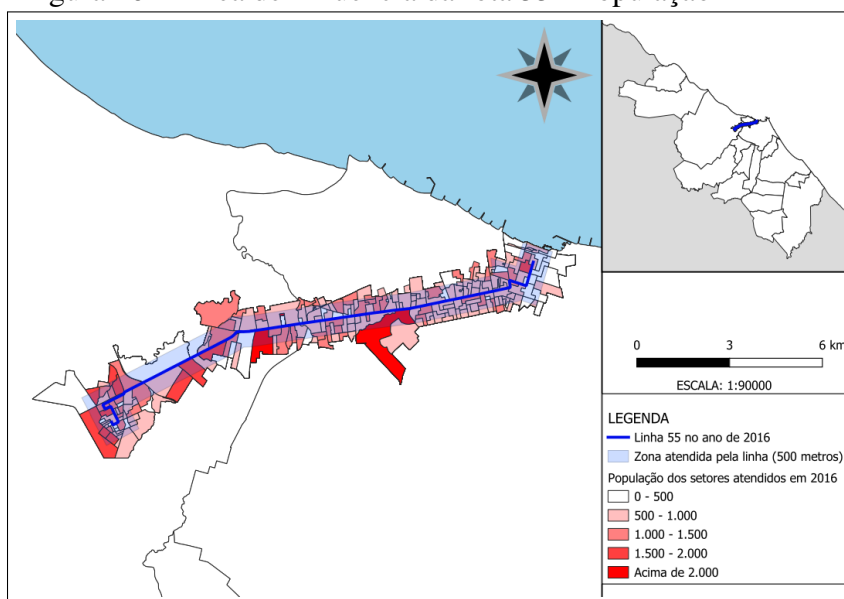


Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Grupo com ineficiência moderada

A rota 55 apresentou viés de -0,135, em 2016. Assim como a rota 58 (ineficiência crítica), a rota 55 teve o menor viés entre as rotas de referências e a menor população na área de influência do percurso da rota. Além disso, a renda média da população da área de influência da rota 55 é a segunda maior dentre as rotas de referência, ou seja, a população desta área tem mais condições de realizar deslocamentos por meio de veículos particulares ou de aplicativos.

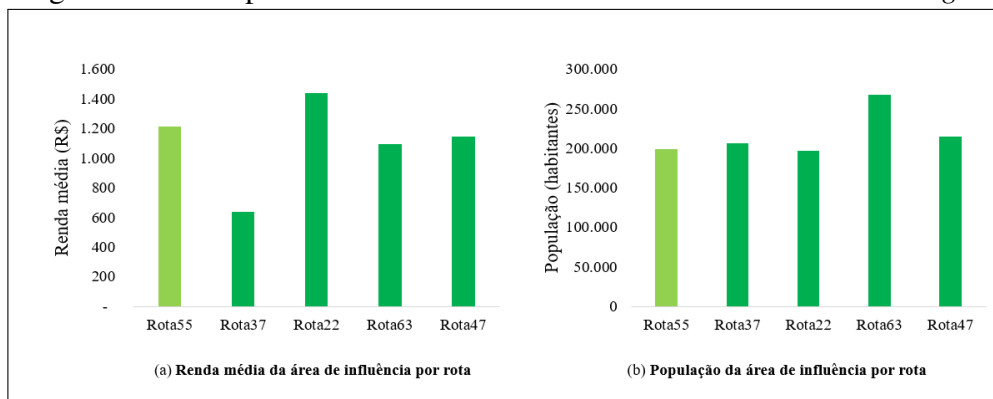
Figura 46 – Área de influência da rota 55 - População



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

As Figuras 47 e 48 compara os fatores externos (população e renda média da área de influência) e variáveis relacionadas a operação da rota 55 e os *benchmarking*.

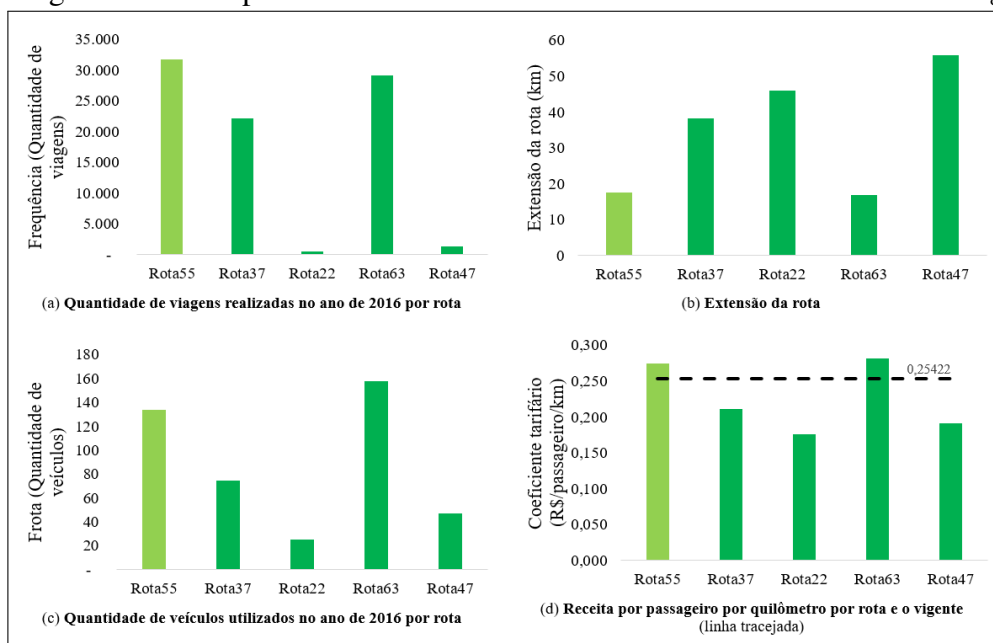
Figura 47 – Comparativo dos fatores externos da rota 55 e *benchmarking*



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Quanto as variáveis operacionais, a rota 55 apresenta características de oferta e extensão semelhante a rota 63, mas com menor quantidade de passageiros e maior receita tarifária, conforme Figuras 33 e 34.

Figura 48 – Comparativo das variáveis e indicador da rota 55 e *benchmarking*



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

A rota 55 tem coeficiente tarifário superior ao vigente do sistema, ou seja, apresenta viabilidade econômico-financeira, enquanto as rotas 22, 37 e 47 tem coeficiente menor, apesar de ser referência.

6.5 Análise ao longo do tempo - Índice Malmquist

Para a análise da eficiência operacional das rotas ao longo do tempo foi utilizado o Índice Malmquist. As variáveis consideradas são: 3 *inputs* (tempo total de operação, idade do veículo e quilometragem percorrida) e 2 *outputs* (quantidade de passageiros e receita tarifária). A quantidade de rotas utilizada no índice Malmquist é diferente da quantidade de rotas em operação no período em análise, tendo em vista que o índice compara dois períodos e só consta como DMU as rotas que operaram em ambos períodos, em 2016 e 2017 tinham 68 e 69, respectivamente, mas apenas 66 rotas tem operação nos dois anos. No Apêndice D, constam as rotas utilizadas em cada período.

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 15. Em 2018, foi o ano que teve mais rotas crescimento de produtividade (34), apesar da média do índice ter sido menor do que 1, o que representa que o sistema não teve ganho de produtividade de 2017/2018. O Apêndice D contém o índice Malmquist para cada rota.

Tabela 15 – Análise de desempenho operacional das rotas de ônibus - Índice Malmquist

Descrição	2016/2017	2017/2018	2018/2019	2019/2020	2020/2021	2021/2022	2016/2022
Quantidade de rotas	66	64	63	49	50	57	45
Rotas com aumento de produtividade	24	34	24	7	27	32	11
Média	1,046	0,993	1,100	0,826	1,026	1,269	0,896
Mediana	0,912	1,013	0,956	0,805	1,027	1,036	0,751
Desvio Padrão	0,621	0,166	0,988	0,187	0,246	1,027	0,502
Mínimo	0,229	0,349	0,317	0,443	0,547	0,146	0,147
Máximo	3,442	1,485	8,389	1,385	1,893	6,879	2,811

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Com o índice Malmquist para o período, pode-se analisar se houve aumento de produtividade operacional de cada rota.

O índice pode ser desmembrado em duas partes conforme Equação 4.2. Uma parte reflete a mudança da tecnologia, se houve melhora no desempenho ocasionado por alteração de veículos, sistemas, infraestrutura. Dos 6 períodos analisados, em três (2017, 2019 e 2020), praticamente não houve melhora relacionado a mudança tecnológica. Apesar disso, em 2017 e 2019, o sistema teve aumento de produtividade, devido a outra parte que é relacionada a mudança da eficiência.

Já a parte do índice que compreende a mudança da eficiência, apresentou de 22 a

35 DMUs com aumento de produtividade no período. Em 4 anos (2017,2019,2020 e 2022), a média da mudança de eficiência foi maior do que 1, que resulta em melhoria do desempenho em relação ao período anterior.

Grupo com ineficiência extrema

Para o período de 2016/2017, a rota 17 teve índice Malmquist de 1,043, sendo a parcela referente a mudança da eficiência de 1,164 e a de mudança tecnológica de 0,896, ou seja, houve melhoria no desempenho relacionado a eficiência, mas uma redução na parte tecnológica.

A rota 17 apresenta aumento de desempenho em 4 dos 6 períodos, com exceção 2019/2020 devido a redução da prestação do serviço e da demanda ocasionados pelo isolamento social, medida adotada no período da pandemia da COVID-19 e do período 2021/2022.

Grupo com ineficiência crítica

A rota 58 apresentou índice Malmquist de 0,961, para o período 2016/2017, tendo uma queda de desempenho operacional em 2017 em comparação à 2016. Apesar do índice ter sido menor do que 1, a parte da mudança da eficiência foi de 1,096 e a da mudança tecnológica foi de 0,876. Assim como a rota 17, houve melhoria no desempenho relacionado a eficiência e uma redução relacionado a parcela tecnológica.

Com relação ao período analisado, a rota 58 apresenta oscilações de melhoria do índice Malmquist, o que alerta para uma operação que varia no desempenho e torna inconstante a prestação do serviço.

Figura 49 – Índice Malmquist e mudança de eficiência e tecnológica da rota 17 e *benchmarking*



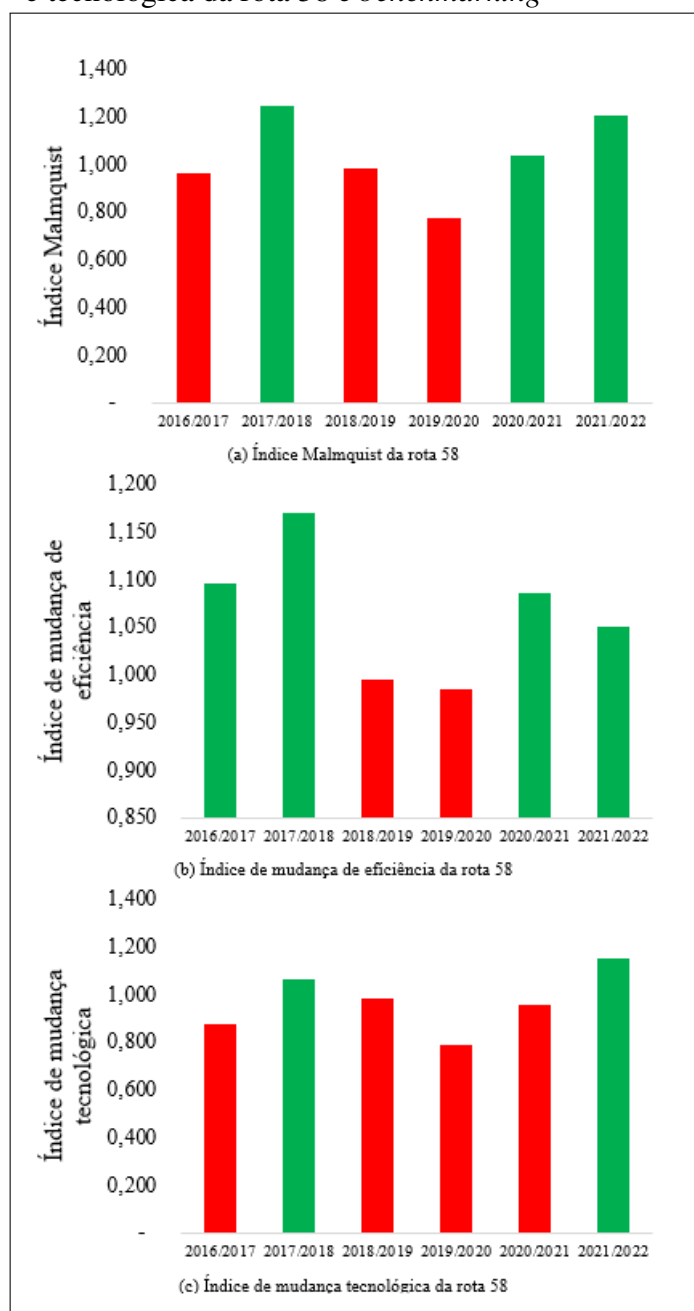
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Grupo com ineficiência moderada

A rota 55 teve índice Malmquist de 0,823, no período de 2016/2017. A parte de mudança da eficiência teve valor de 0,958 e a referente a mudança tecnológica foi de 0,860. A rota teve queda da ineficiência tanto no índice, como nas duas parcelas que o compõem.

A rota 55, assim como a rota 58, apresenta oscilações do índice Malmquist. A análise detalhada dos *inputs* e *outputs* de cada ano e o índice Malmquist permite a melhor compreensão da operação ao longo do período.

Figura 50 – Índice Malmquist e mudança de eficiência e tecnológica da rota 58 e *benchmarking*

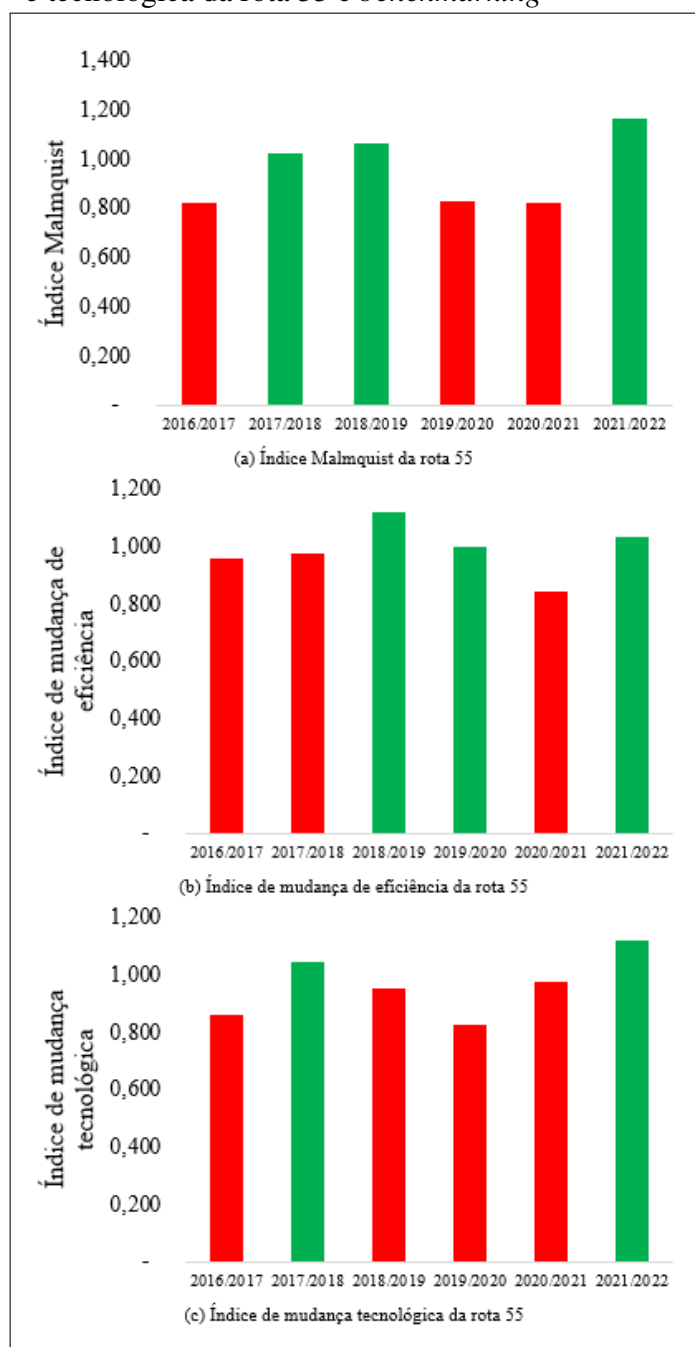


Fonte: elaborado pelo autor (2023).

A análise do índice demonstra que apesar do sistema não ter tido grandes alterações tecnológicas, houve melhora na produtividade devido a mudanças na eficiência que pode ter sido ocasionado por ajustes realizados no planejamento da operação.

No capítulo seguinte, será realizada análise integrada dos modelos, assim como, por empresa, o que permitirá uma visão abrangente dos pontos a serem melhorados.

Figura 51 – Índice Malmquist e mudança de eficiência e tecnológica da rota 55 e *benchmarking*



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

6.6 Conclusão

A proposta deste estudo foi introduzir a metodologia de avaliação de desempenho operacional de transporte público e, para demonstrar a metodologia, realizou-se aplicação no sistema de transporte rodoviário metropolitano público da RMF. É possível notar que os resultados apresentados pelo método DEA permitem aos gestores e operadores de transportes dispor de conteúdo que permitirá uma melhor tomada de decisão, com o objetivo de proporcionar

melhorias no serviço.

Pela análise de pré-processamento, nota-se falhas na etapa de registro dos dados, sendo recomendado ao órgão gestor e aos operadores aperfeiçoar o processo do sistema de bilhetagem (início e fechamento da viagem, sentido da rota, etc.), de forma a minimizar a exclusão de *outliers* e dispor de uma maior quantidade de registros para aplicação dos modelos.

Na análise do resultado do modelo DEA clássico orientado a *inputs* que considera a redução dos *inputs* com a manutenção da mesma quantidade de *outputs*, para a rota ser eficiente, o modelo resultou em valores de redução elevados. Algumas formas de reduzir as ineficiências seriam a redução do tempo de viagem e/ou a quantidade de viagens realizadas, reorganização da rede com agrupamento de rotas, análise dos pontos de paradas, dentre outras. Tal decisão de modificação deve considerar a desagregação por faixa horária, além da espacialidade da rede, de maneira a não prejudicar a qualidade do serviço.

Na análise do modelo *network* DEA, foi possível perceber que o melhor desempenho da operação do serviço deve-se ao estágio 1 que analisou a relação das variáveis frequência e frota com tempo de operação, idade do veículo e quilometragem. No estágio 2, onde a relação foi entre oferta x demanda, obteve-se índices de desempenho menores. Tais resultados, demonstram que as variáveis da oferta estão ajustadas para obtenção do melhor desempenho, mas que devido aos valores de demanda podem ser realizadas melhorias, de maneira a tornar a operação do transporte público eficiente.

Com relação aos impactos dos fatores externos no desempenho da operação, o modelo mostra o impacto da população no desempenho de cada rota. A influência de fatores externos no desempenho operacional não permite aos gestores e operadores a adoção de medidas para melhorar a operação, tendo em vista que são aspectos não relacionados diretamente com o transporte público. A medida a ser adotada pelos gestores de transportes para rotas que tem influência de fatores externos são recomendações a outras instituições ou governo que tenham autoridade para implementar mudanças ou a alteração do itinerário da rota, mas que necessita de planejamento e análise da rede de transporte público.

Na análise do resultado do índice Malmquist, foi possível perceber a variação da produtividade operacional ao longo dos anos, tendo aumento em 4 períodos (2016/2017, 2018/2019, 2020/2021 e 2021/2022) e redução em 2 (2017/2018 e 2019/2020). O ano de 2020 teve o impacto da pandemia COVID-19 que afetou a operação do transporte público com as medidas de isolamento, logo o período de 2019/2020 teve ineficiência de desempenho.

Com os resultados obtidos, é possível obter fragilidades na operação que podem ser corrigidas, de maneira a fornecer um transporte público de qualidade, seja com alteração no projeto de rede, na programação das rotas, dos veículos ou da tripulação.

O capítulo seguinte realiza uma análise integrada dos resultados por empresa, onde é possível analisar todas as rotas por empresa e compreender as semelhanças e disparidades das rotas que utilizam recursos de uma mesma companhia. Outra forma de análise integrada é por corredor viário, sendo possível agregar todas as rotas que atendem uma mesma região que possuem fatores externos iguais. E por fim, uma análise de rotas com extensão semelhantes, para compreender se o desempenho é afetado pela extensão da rota.

7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Através da análise de desempenho operacional obtido conforme Capítulo 6 e com base em padrões operacionais pré-definidos como desejáveis pelo Órgão Gestor, pode ser detectada deficiência ou não nas categorias analisadas.

O estudo fez a análise em consideração nas seguintes categorias, apresentadas na Tabela 1: disponibilidade, tempo, serviço ofertado, conforto, manutenção e econômico. Com base nos modelos aplicados, pode-se realizar uma análise integrada dos resultados.

Os resultados obtidos foram utilizados como informação do serviço e utilizados no processo de planejamento do transporte público, conforme Figura 1, de maneira a realizar ajustes no planejamento e melhorar a operação.

A discussão dos resultados aborda a integração dos resultados obtidos em cada modelo (rota, conjunto de rotas, fatores externos e ao longo do tempo), de maneira a compreender em que pontos a empresa ou rota precisa corrigir falhas, com o objetivo de melhorar a qualidade do serviço.

O modelo por rotas e ao longo do tempo permitem ter resultados que podem impactar em alterações desde o projeto de rede até a programação da tripulação, tendo em vista que tratam de aspectos inerentes a rota, seja em um ano específico ou ao longo do período. Já os modelos de conjunto de rotas e fatores externos podem impactar mais no projeto de rede, por analisar bloco de rotas e aspectos que não são específicos ao transporte público, respectivamente.

Com os resultados obtidos, é possível estabelecer diretrizes das principais ações corretivas para melhorar o desempenho do transporte público de passageiros e os respectivos parâmetros.

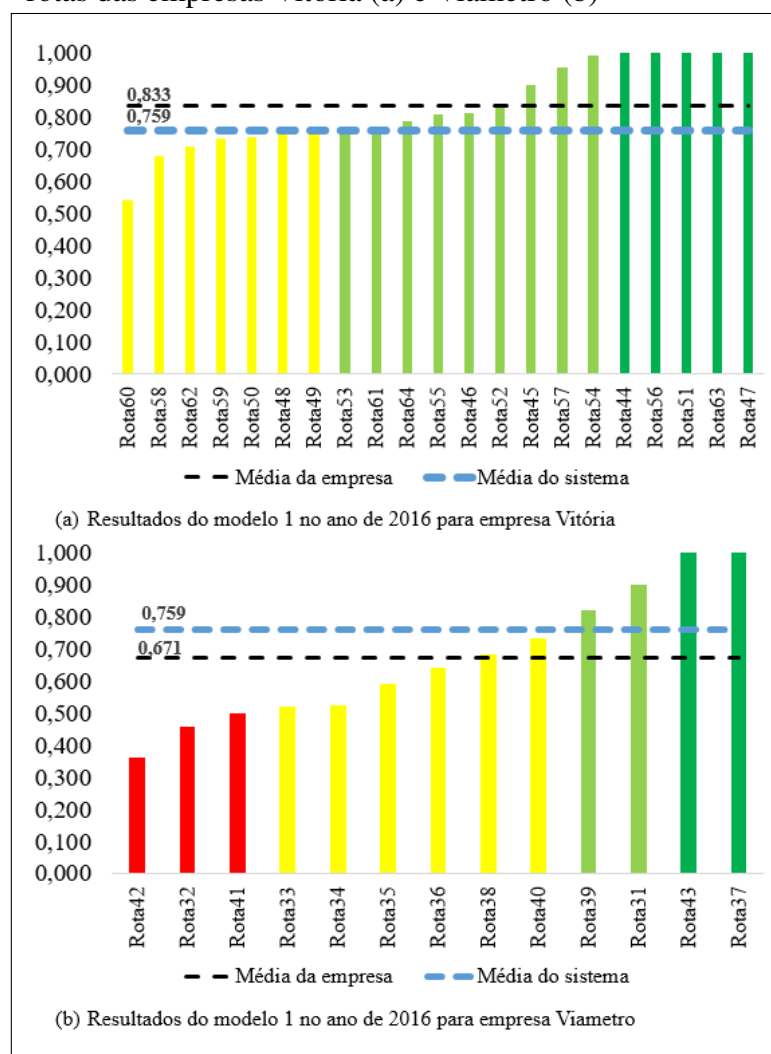
O capítulo está estruturado na primeira seção de discussão dos resultados por empresa, que permite comparar as rotas da mesma companhia e o desempenho entre as empresas. A segunda seção discute os resultados por corredor viário, de maneira a avaliar rotas que atendem uma mesma região com características geográficas e operacionais semelhantes. A terceira seção apresenta a discussão dos resultados por grupo de extensão das rotas, para discutir o quanto a extensão da rota afeta o desempenho operacional. Por fim, são realizadas as considerações finais.

7.1 Por empresa

A análise dos resultados por empresa permite comparar a operação das rotas por transportadora e avaliar se há uniformidade na relação oferta e demanda. Com base nos resultados, pode-se utilizar uma empresa como referência para as demais.

A Figura 52 apresenta os resultados do modelo 1 para as duas maiores operadoras do sistema de transporte público da RMF. A empresa Vitória, no ano de 2016, não teve nenhuma rota com ineficiência extrema, tendo 5 rotas eficientes e média maior do que a média do sistema.

Figura 52 – Resultados do modelo 1 no ano de 2016 por rotas das empresas Vitória (a) e Viametro (b)



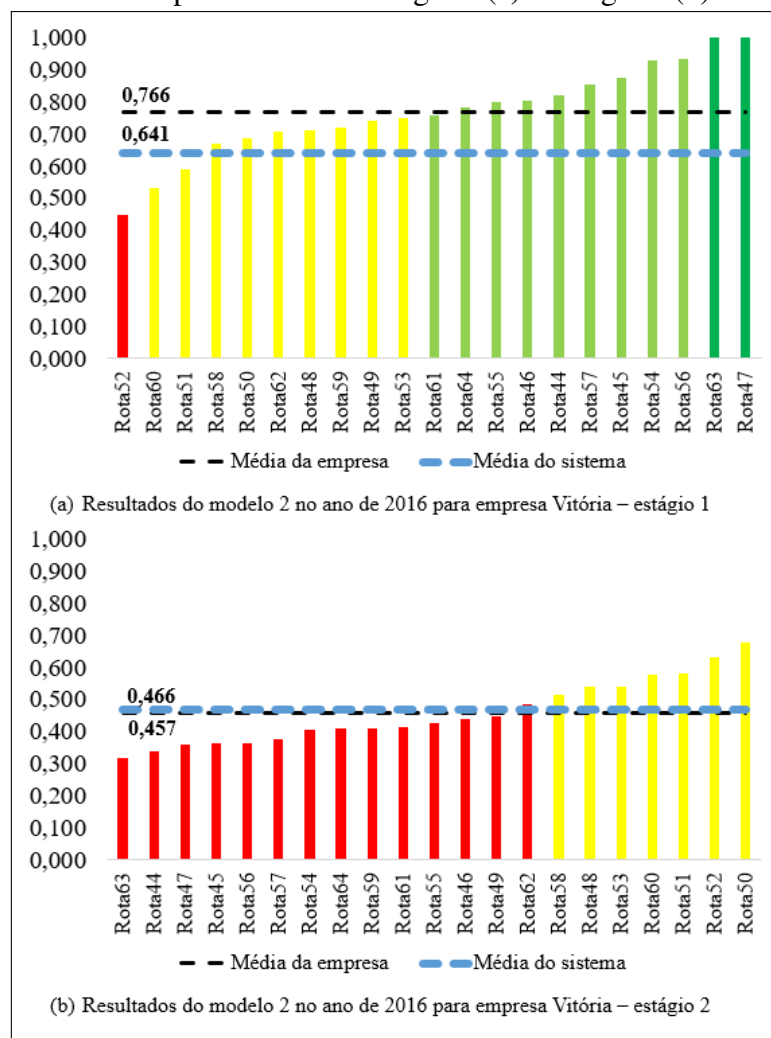
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Já a empresa Viametro tem resultados com maior variação entre as rotas. A empresa teve 2 rotas eficientes e 3 rotas com ineficiência extrema, além disso a média da empresa é inferior a média do sistema.

Tais resultados, indicam que as empresas podem realizar processos de melhoria na operação com base nas rotas eficientes, de maneira a analisar aspectos que tornam as demais rotas ineficientes.

Quando se comparam os resultados do modelo 2, Figura 53, a empresa Vitória teve 1 rota com ineficiência extrema no estágio 1 e 2 rotas eficientes. Uma forma de melhorar o desempenho seria ajustes na programação das rotas e dos veículos, de maneira a racionalizar as variáveis (tempo de operação e quilometragem). No estágio 2, os resultados são inferiores ao estágio 1, como já mencionado, devido a relação oferta x demanda não ser tão eficiente em relação quando se comparam apenas aspectos relacionados a oferta.

Figura 53 – Resultados do modelo 2 no ano de 2016 por rotas da empresa Vitória - estágio 1 (a) e estágio 2 (b)

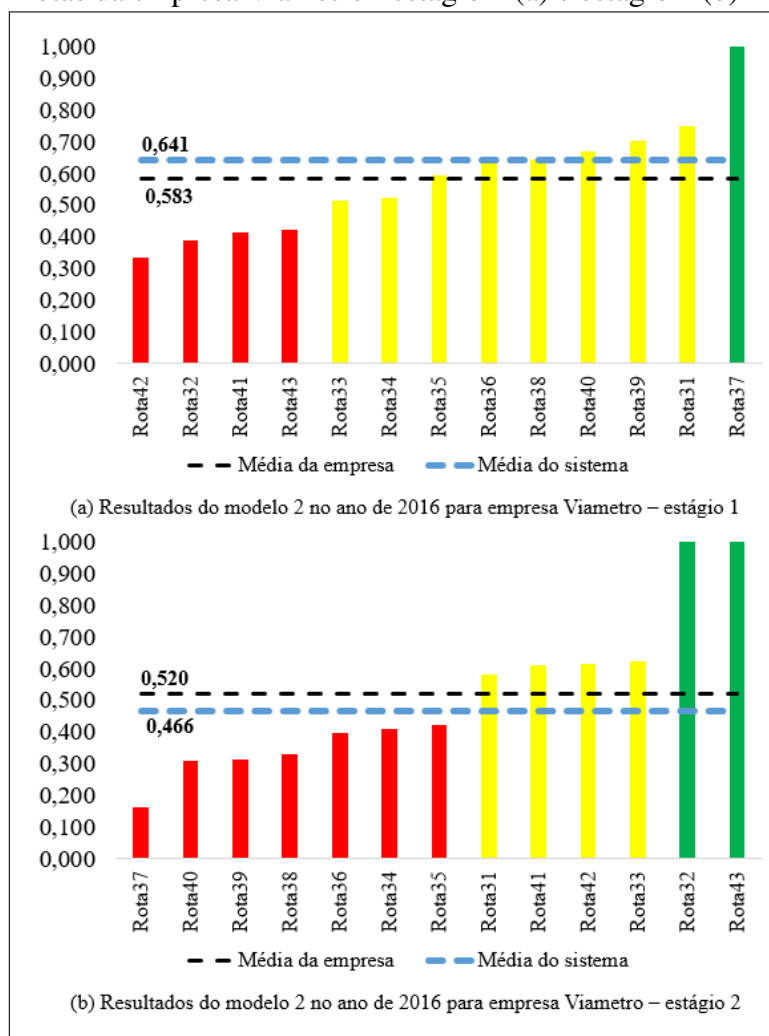


Fonte: elaborado pelo autor (2023).

A empresa Viametro, no modelo 2, também teve resultados inferiores no estágio 2 em relação ao estágio 1, como mostra a Figura 54. Apesar disso, a empresa teve 2 rotas eficientes

no estágio 2, o que demonstra que essas duas rotas tem demanda adequada com a oferta, o que torna o índice de desempenho eficiente.

Figura 54 – Resultados do modelo 2 no ano de 2016 por rotas da empresa Viametro - estágio 1 (a) e estágio 2 (b)

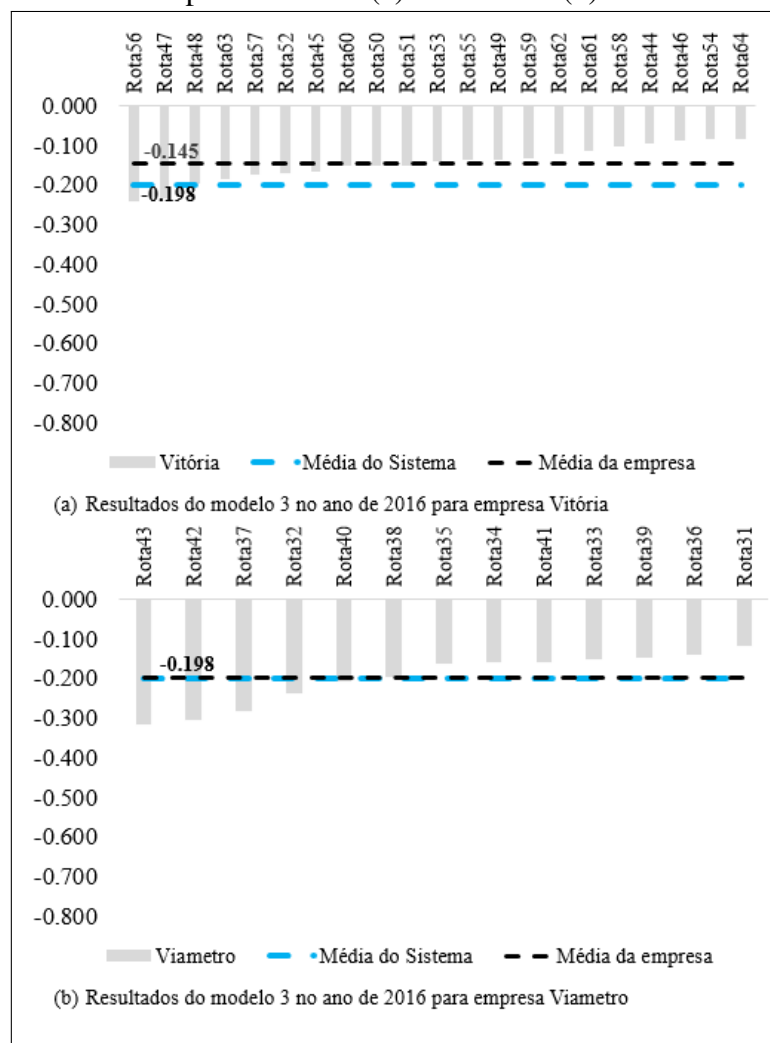


Fonte: elaborado pelo autor (2023).

No resultado do modelo 3, foi possível avaliar o impacto do fator externo população no desempenho das rotas. A Figura 55 apresenta o valor do viés de cada rota das empresas Vitória (a) e Viametro (b). É possível perceber que as rotas da empresa Vitória tem viés menor do que a média do sistema, enquanto a empresa Viametro tem a mesma média, ou seja, é mais impactada devido a população da área de influência. Tal fato demonstra que as rotas das duas empresas não podem apresentar os mesmos resultados de desempenho operacional apenas com melhorias em aspectos operacionais ou relacionados diretamente com o transporte público.

Com relação a análise ao longo do tempo, os resultados do modelo 4, demonstram que apenas 1 rota das duas empresas tem melhoria de produtividade no período de 2016/2017,

Figura 55 – Resultados do modelo 3 no ano de 2016 por rotas das empresas Vitória (a) e Viametro (b)



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

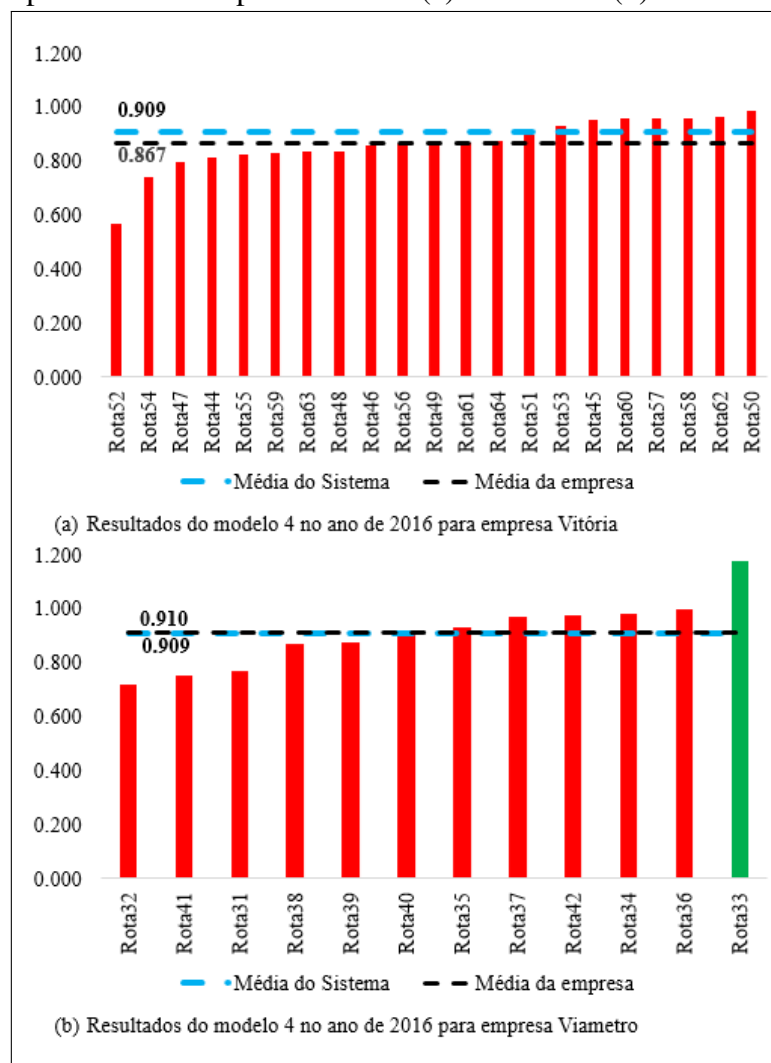
conforme Figura 56. Além disso, a empresa Vitória teve média de produtividade no período menor do que a do sistema.

Com os resultados dos 4 modelos, fica mais claro observar em que aspectos cada empresa pode ter mais atenção e procurar identificar falhas ou ineficiências que permitam serem corrigidas e melhorar o desempenho operacional.

As figuras com resultados das demais empresas são apresentados no Apêndice E. Um resumo dos resultados das demais empresas será analisado a seguir.

A empresa São Benedito teve 3 rotas eficientes e 3 com ineficiência extrema, no modelo 1. E assim como a empresa Vitória, teve média do índice de desempenho superior à média do sistema. No modelo 2, a empresa teve apenas 1 rota eficiente nos estágios 1 e 2 e média inferior à média do sistema nos dois estágios. O resultado demonstra que ao desagregar em dois estágios, as rotas da empresa São Benedito apresentam resultados que constata a

Figura 56 – Resultados do modelo 4 no período 2016/2017 por rotas das empresas Vitória (a) e Viametro (b)



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

ineficiência, enquanto não foi possível identificar nos resultados do modelo 1. Com relação ao impacto do fator externo, a empresa apresentou maior viés do que à média do sistema, além disso a rota 17 teve viés bem elevado quando comparado com as demais rotas. O resultado do modelo 3 demonstra que a empresa São Benedito é mais impactada negativamente no desempenho operacional pela população da área de influência do que as demais empresas. Por fim, nos resultados do modelo 4, 3 rotas tiveram melhoria de produtividade no período 2016/2017.

A empresa Anfrolanda não teve rotas com ineficiência extrema e apresentou média de desempenho maior do que à média do sistema, no modelo 1. No modelo 2, a empresa apresentou média superior à média do sistema e 1 rota eficiente, no estágio 1. No estágio 2, 4 das 5 rotas tiveram ineficiência extrema, ou seja, um excesso de oferta para a demanda obtida no período. No modelo 3, a empresa apresentou viés semelhante a média do sistema. Nos resultados

do modelo 4, 2 das 5 rotas da empresa tiveram melhoria de produtividade e valor média superior à média do sistema, em 2016/2017.

A empresa Fretcar obteve 2 rotas eficientes e 2 rotas com ineficiência extrema e média de desempenho menor do que à média do sistema, no modelo 1. No modelo 2, a empresa apresentou média muito inferior à média do sistema e 5 das 7 rotas com ineficiência extrema, no estágio 1. No estágio 2, 4 das 7 rotas tiveram ineficiência extrema e o valor médio superior à média do sistema. No modelo 3, a empresa apresentou viés mais negativo do que a média do sistema, o que resulta em ter a operação impactada negativamente por fatores externos. Nos resultados do modelo 4, 3 das 6 rotas da empresa tiveram melhoria de produtividade e valor média superior à média do sistema, em 2016/2017. A empresa Fretcar encerrou as operações do transporte público metropolitano em 2022. Pelos resultados e quantidade de rotas, é possível perceber as mudanças durante o período. A empresa chegou a ter 8 rotas e média de índice de 0,623 (2018), e em 2021, operou apenas 3 rotas e obteve a maior média 0,712, em relação aos demais anos. Até 2020 (ano da pandemia COVID-19), a empresa teve aumento de produtividade em 2018 e 2019, mas em 2020 houve a redução para 4 rotas e o índice Malmquist foi de 0,626.

A empresa São Paulo opera apenas 3 rotas. Nos resultados do modelo 1, teve 1 rota com ineficiência extrema, 1 rota eficiente e média de desempenho inferior à média do sistema. No modelo 2, os resultados foram semelhantes à média do sistema, nos estágios 1 e 2. No modelo 3, a empresa apresentou viés mais negativo do que a média do sistema. Nos resultados do modelo 4, apenas 1 das 3 rotas da empresa teve melhoria de produtividade e o valor da média do índice é superior à média do sistema, em 2016/2017.

Já a empresa MS Turismo teve a menor média do índice com variação de 0,411 (2018) a 0,666 (2022), vale mencionar que a empresa opera apenas a rota 08, durante todo o período. No modelo de rede, a empresa em 2020 e 2021 foi eficiente no estágio 1. A empresa juntamente com a empresa 5 tiveram a menor influência de fatores externos no desempenho (média 1,214). No aspecto operacional, é restrito alterações na empresa, devido ser responsável apenas pela operação de 1 rota. Em 2 anos (2019 e 2021), a empresa teve ganho de produtividade quando comparado ao ano anterior.

Os resultados por empresas indicam que não são uniformes a relação entre a oferta e demanda de cada companhia. Enquanto a empresa Anfrolanda se mantém com valores de desempenho alto em todos os anos, as empresas MS Turismo e Fretcar tiveram valores sempre abaixo das demais, o que pode ser motivado pela forma de programação do serviço (veículos,

Tabela 16 – Resumo da média do índice de desempenho operacional por empresa no ano de 2016

Empresa	Modelo 1	Modelo2 ₁	Modelo2 ₂	Modelo3	Modelo4
Vitória	0.833	0.774	0.467	-0.297	0.867
São Benedito	0.786	0.613	0.412	-0.307	1.007
Viametro	0.671	0.586	0.533	-0.205	0.916
Fretcar	0.660	0.403	0.497	-0.253	1.351
Penha	0.813	0.734	0.445	-0.206	1.218
São Paulo	0.745	0.632	0.489	-0.218	1.005
MS Turismo	0.433	0.427	0.719	-0.274	0.917
Média geral	0.759	0.645	0.475	-0.264	0.991

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

horários e tripulação).

Também é possível analisar as empresas com base nas categorias de indicadores. Para o ano de 2023, a empresa Vitória deve melhorar a categoria tempo e serviço ofertado com redução de 11% a 16% para as variáveis tempo de operação e quilometragem percorrida e para as categorias conforto e manutenção deve reduzir 21% na variável idade do veículo, admitindo que a receita tarifária e a quantidade de passageiros permanecem constante.

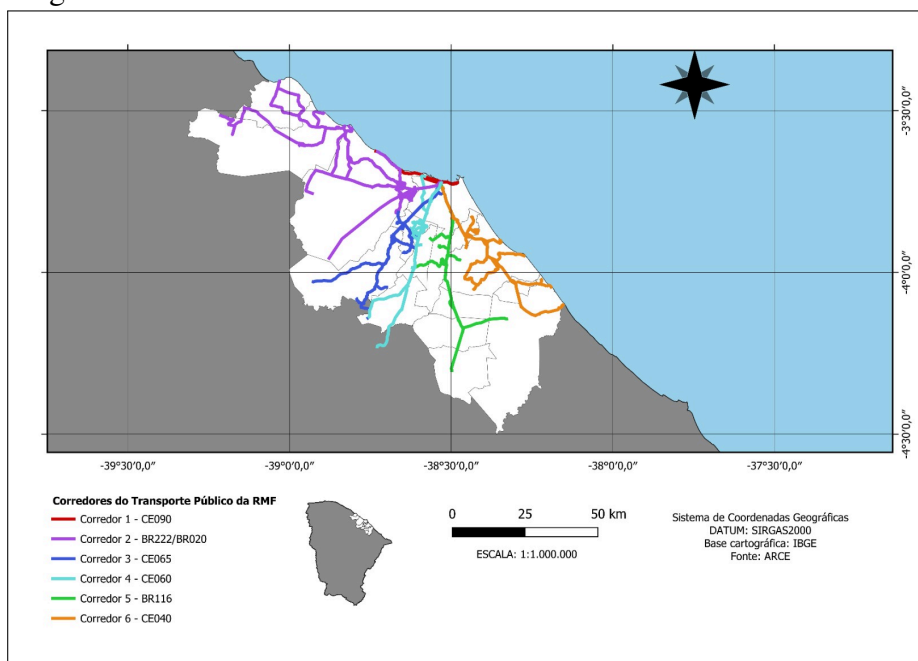
A melhoria do tempo e serviço ofertado pode ser realizada com uma avaliação da etapa de programação das rotas, de maneira a redimensionar a frequência, *headway* e programação operacional. Já a categoria conforto e manutenção pode ser necessário analisar a programação dos veículos, desde a escolha dos veículos mais novos, até um programa de manutenção periódica, sem a necessidade de aquisição de novos veículos, tendo em vista que ocasiona mais custos, não sendo analisado no estudo.

7.2 Por corredor viário

Uma outra forma de analisar os resultados é por corredor viário, por se tratar de rotas com itinerários e população atendida semelhantes. O estudo distribuiu as rotas em 6 corredores viários que interligam os municípios do interior a Fortaleza. Há 8 rotas que não tem como origem/destino Fortaleza ou operam apenas de madrugada, não sendo consideradas na análise em nenhum corredor.

O corredor 1 não teve rotas com ineficiência extrema, 3 rotas eficientes e apresentou média de desempenho maior do que à média do sistema, no modelo 1, conforme Figura 58. Nos resultados do modelo 2, Figura 59, o corredor teve média inferior à média do sistema, 3 rotas com ineficiência extrema e 1 rota eficiente, no estágio 1. No estágio 2, 5 das 8 rotas tiveram

Figura 57 – Corredores viários da RMF



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

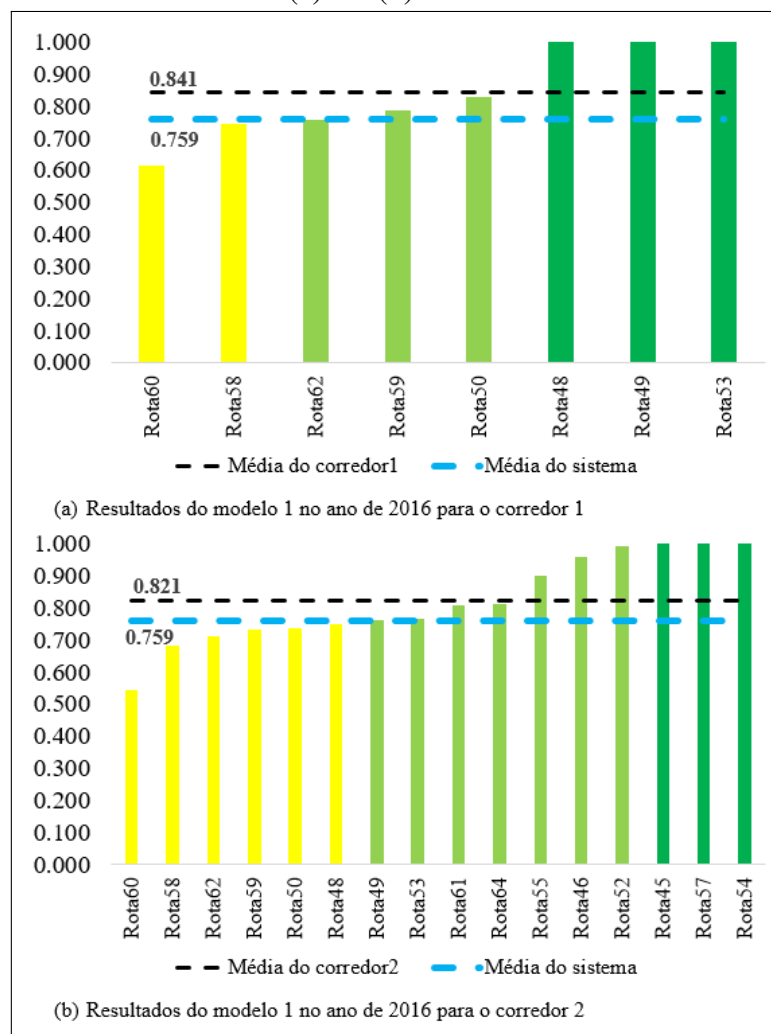
ineficiência extrema e nenhuma rota eficiente. No modelo 3, o corredor apresentou viés maior do que a média do sistema, conforme Figura 61. Nos resultados do modelo 4, Figura 62, apenas 1 das 7 rotas da empresa teve melhoria de produtividade e o valor médio do índice foi inferior à média do sistema, em 2016/2017.

O corredor 2 não teve rotas com ineficiência extrema, 3 rotas eficientes e apresentou média de desempenho maior do que à média do sistema, no modelo 1, conforme Figura 58. As rotas dos corredores 1 e 2 são praticamente operadas pela empresa Vitória, logo os resultados dos corredores são semelhantes aos resultados da empresa. Nos resultados do modelo 2, Figura 60, o corredor teve média superior à média do sistema, nenhuma rota com ineficiência extrema e 1 rota eficiente, no estágio 1. No estágio 2, 11 das 16 rotas tiveram ineficiência extrema e nenhuma rota eficiente. No modelo 3, o corredor apresentou viés maior do que a média do sistema, conforme Figura 61, o resultado demonstra que a região que é operada pela empresa Vitória foi menos impactada negativamente pelo fator externo do que as demais regiões operada pelo transporte público metropolitano. Nos resultados do modelo 4, Figura 62, nenhuma rota da empresa teve melhoria de produtividade e o valor médio do índice foi inferior à média do sistema, em 2016/2017.

As figuras com resultados dos demais corredores viários são apresentados no Apêndice F.

O corredor viário 3 teve 3 rotas com ineficiência extrema, 4 rotas eficientes e média

Figura 58 – Resultados do modelo 1 no ano de 2016 para os corredores viários 1 (a) e 2 (b)

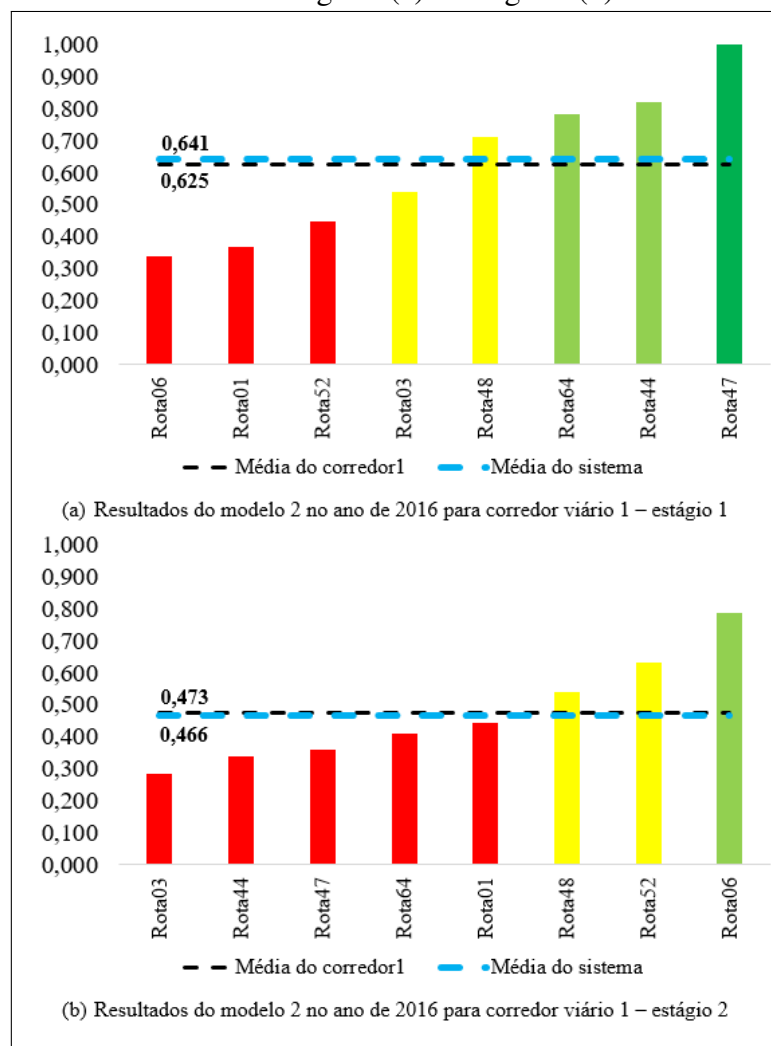


Fonte: elaborado pelo autor (2023).

de desempenho inferior à média do sistema. No modelo 2, os resultados foram semelhantes à média do sistema, nos estágios 1 e 2, tendo 2 rotas eficientes no estágio 1. No modelo 3, o corredor apresentou viés menor do que a média do sistema. Nos resultados do modelo 4, apenas 4 das 14 rotas do corredor tiveram melhoria de produtividade e o valor da média do índice é superior à média do sistema, em 2016/2017.

O corredor 4 que tem 11 rotas teve 2 rotas eficientes e 3 rotas com ineficiência extrema. Pelo modelo 2, apenas no estágio 2 que 2 rotas foram eficientes, diferente dos demais resultados do modelo 2 que o estágio 1 apresentou média superior a média do estágio 2. Para fatores externos, o corredor 4 teve média de desempenho menor do que à média do sistema, o que evidencia que a variável população influencia negativamente no desempenho operacional do corredor 4 mais do que nos demais corredores viários. Nos resultados do modelo 4, apenas 2 das 10 rotas do corredor tiveram melhoria de produtividade e o valor da média do índice é superior à

Figura 59 – Resultados do modelo 2 no ano de 2016 para o corredor viário 1 - estágio 1 (a) e estágio 2 (b)



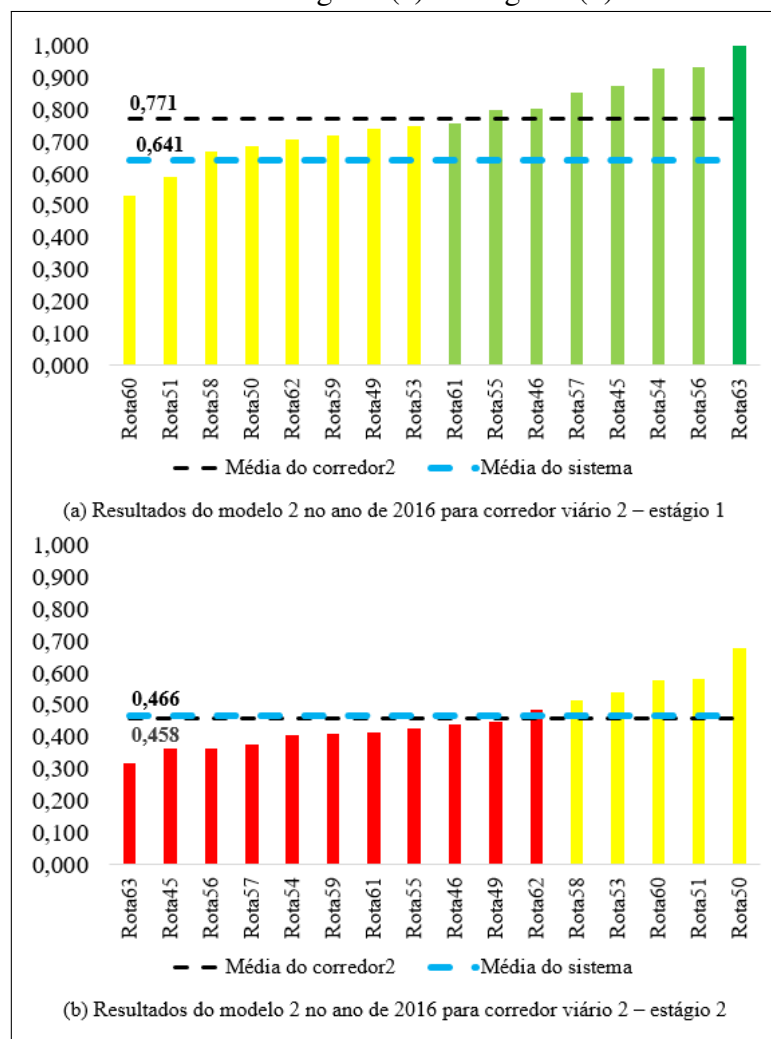
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

média do sistema, em 2016/2017.

O corredor 5 teve apenas 1 rota eficiente e 1 com ineficiência extrema. Pelo modelo 2, nenhuma rota foi eficiente e a média do desempenho no corredor foi inferior a média do sistema, nos dois estágios. Para fatores externos, o corredor 5 teve média de desempenho semelhante à média do sistema. Nos resultados do modelo 4, apenas 1 das 6 rotas do corredor tiveram melhoria de produtividade e o valor da média do índice é inferior à média do sistema, em 2016/2017.

O corredor 6 teve 2 rotas eficientes e 2 com ineficiência extrema. Pelo modelo 2, 1 rota foi eficiente e a média do desempenho no corredor foi inferior a média do sistema, nos dois estágios. Para fatores externos, o corredor 6 teve média de desempenho inferior à média do sistema, o que evidencia que a região foi mais impactada negativamente pela variável população do que as demais áreas atendidas. Nos resultados do modelo 4, 2 das 8 rotas do corredor tiveram

Figura 60 – Resultados do modelo 2 no ano de 2016 para o corredor viário 2 - estágio 1 (a) e estágio 2 (b)



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

melhoria de produtividade e o valor da média do índice foi superior à média do sistema, em 2016/2017.

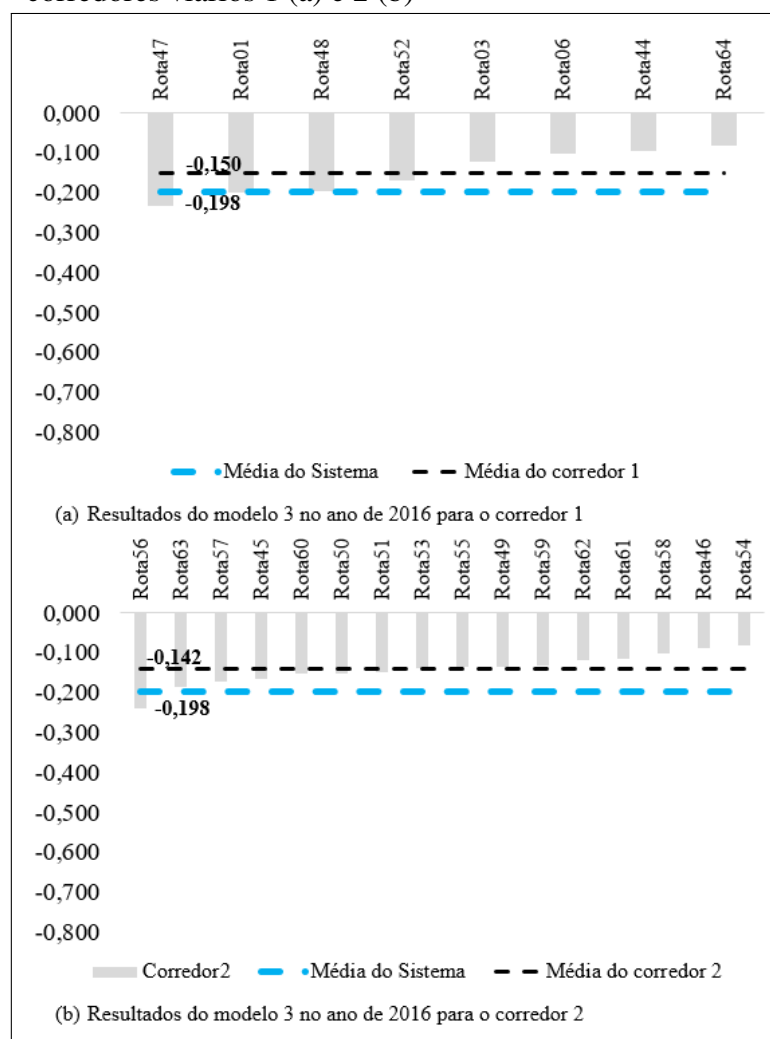
Tabela 17 – Resumo da média do índice de desempenho operacional por corredores viários no ano de 2016

Corredor viário	Modelo 1	Modelo2 ₁	Modelo2 ₂	Modelo3	Modelo4
1	0.841	0.626	0.484	-0.357	0.925
2	0.821	0.781	0.466	-0.241	0.895
3	0.747	0.671	0.431	-0.228	1.103
4	0.620	0.488	0.595	-0.223	1.018
5	0.822	0.580	0.361	-0.199	0.997
6	0.759	0.638	0.450	-0.387	1.014
Média geral	0.759	0.645	0.475	-0.264	0.991

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Pelos resultados por corredores, nota-se que o corredor com apenas 1 empresa teve

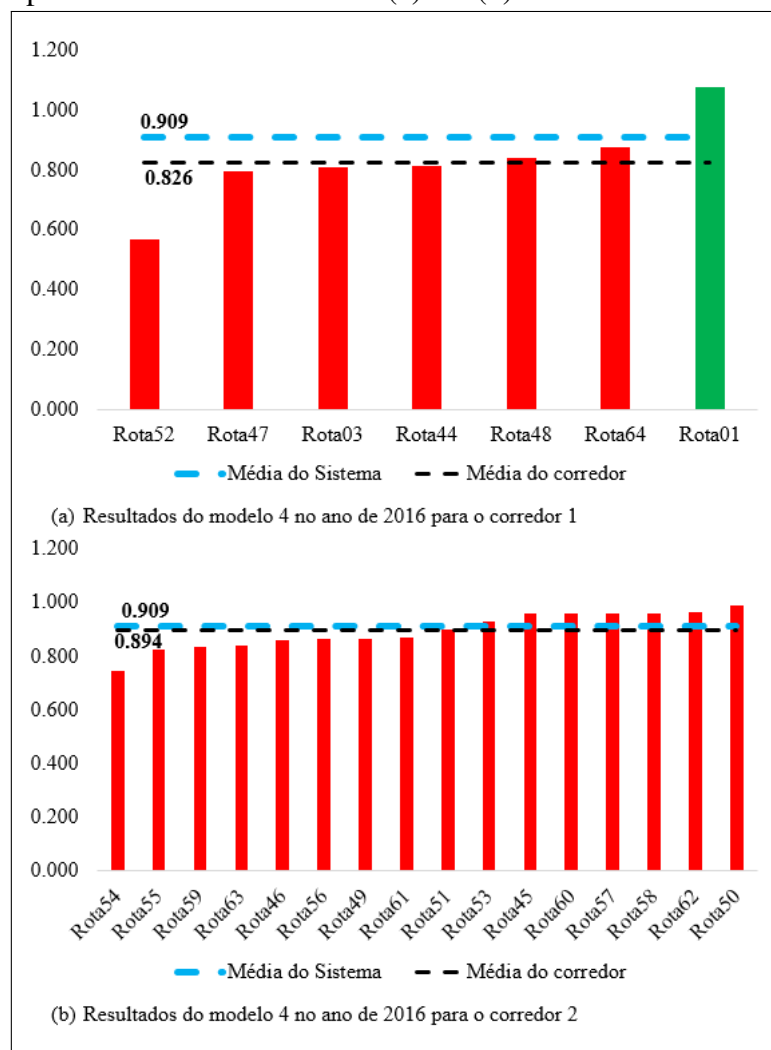
Figura 61 – Resultados do modelo 3 no ano de 2016 para os corredores viários 1 (a) e 2 (b)



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

melhor desempenho operacional, enquanto os corredores com mais empresas apresentaram baixo índice de desempenho. A concorrência pela demanda e a coordenação da programação podem explicar o melhor desempenho obtido.

Figura 62 – Resultados do modelo 4 no período 2016/2017 para os corredores viários 1 (a) e 2 (b)



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

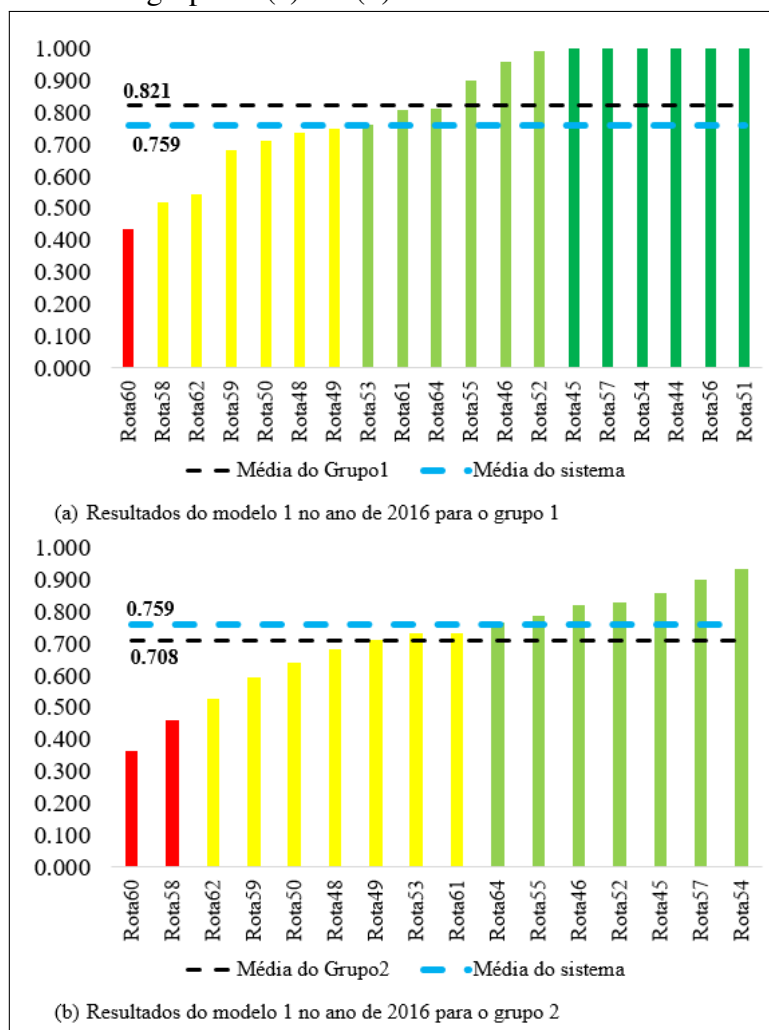
7.3 Por grupo de extensão da rota

Uma análise por extensão da rota permite avaliar se há impacto no desempenho operacional a extensão das rotas, além de possibilitar a comparação entre rotas com extensões similares. A classificação por extensão foi dividida em quartis, sendo o 1º grupo com extensão até 20,81 km, 2º grupo 31,54 km, 3º grupo 58,83 km, e por fim, o 4º grupo com rotas com extensões maiores do que 58,83 km.

O grupo 1 teve apenas 1 rota com ineficiência extrema, 6 rotas eficientes e apresentou média de desempenho maior do que à média do sistema, no modelo 1, conforme Figura 63. Nos resultados do modelo 2, Figura 64, o grupo 1 teve média superior à média do sistema, 2 rotas com ineficiência extrema e 2 rota eficiente, no estágio 1. No estágio 2, 10 das 19 rotas tiveram ineficiência extrema e apenas 1 rota eficiente. No modelo 3, o grupo apresentou viés maior do

que a média do sistema, conforme Figura 66. Nos resultados do modelo 4, Figura 67, apenas 3 das 18 rotas da empresa teve melhoria de produtividade e o valor médio do índice foi superior à média do sistema, em 2016/2017.

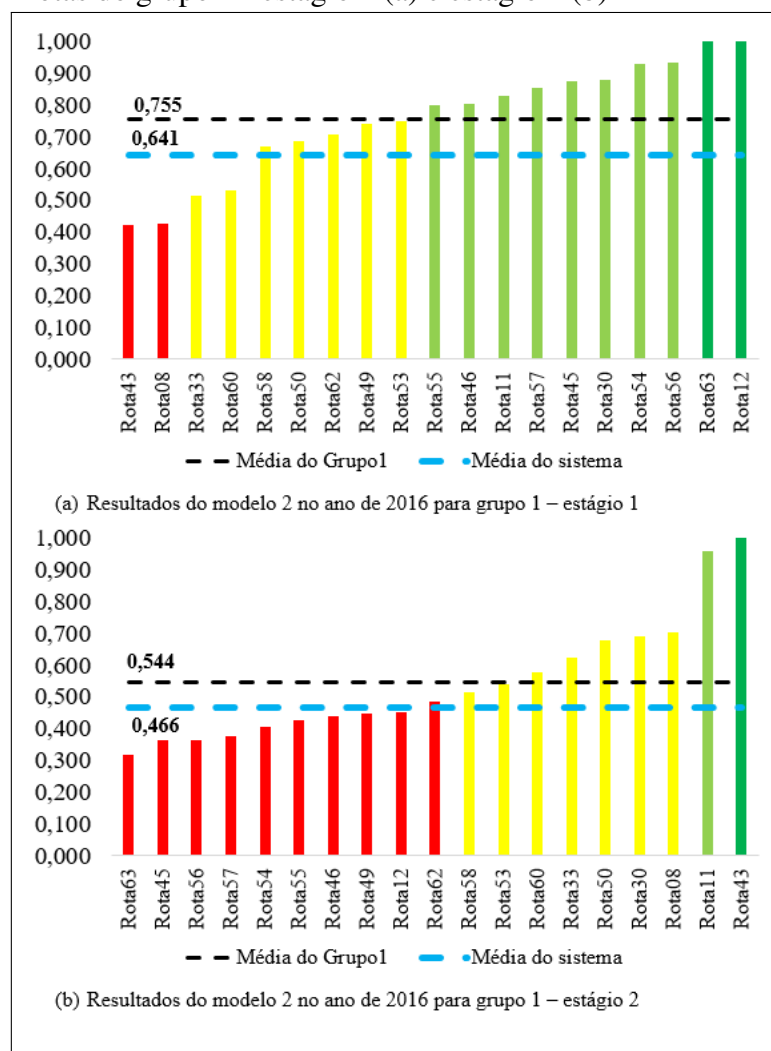
Figura 63 – Resultados do modelo 1 no ano de 2016 para rotas dos grupos 1 (a) e 2 (b)



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

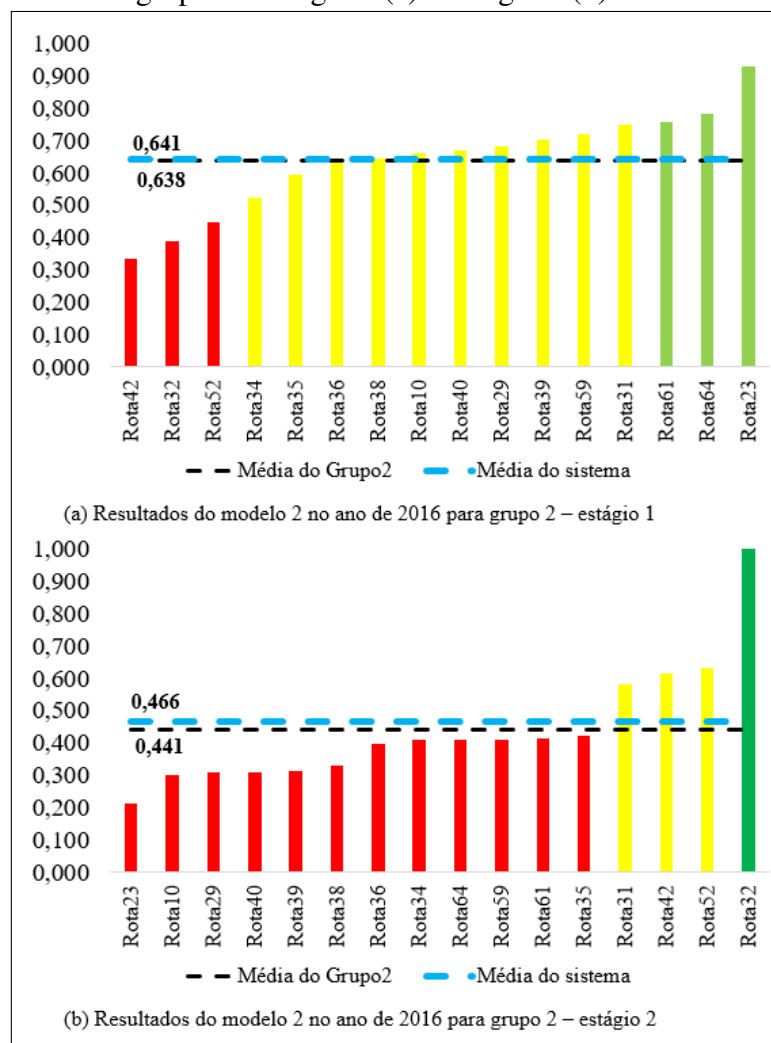
O grupo 2 teve 2 rotas com ineficiência extrema, nenhuma rota eficiente e apresentou média de desempenho menor do que à média do sistema, no modelo 1, conforme Figura 63. Nos resultados do modelo 2, Figura 65, o grupo teve média semelhante à média do sistema, 3 rotas com ineficiência extrema e nenhuma rota eficiente, no estágio 1. No estágio 2, 12 das 14 rotas tiveram ineficiência extrema e apenas 1 rota eficiente. No modelo 3, o grupo apresentou viés maior do que a média do sistema, conforme Figura 66. Nos resultados do modelo 4, Figura 67, nenhuma das 16 rotas da empresa teve melhoria de produtividade e o valor médio do índice foi inferior à média do sistema, em 2016/2017.

Figura 64 – Resultados do modelo 2 no ano de 2016 para rotas do grupo 1 - estágio 1 (a) e estágio 2 (b)



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Figura 65 – Resultados do modelo 2 no ano de 2016 para rotas do grupo 2 - estágio 1 (a) e estágio 2 (b)



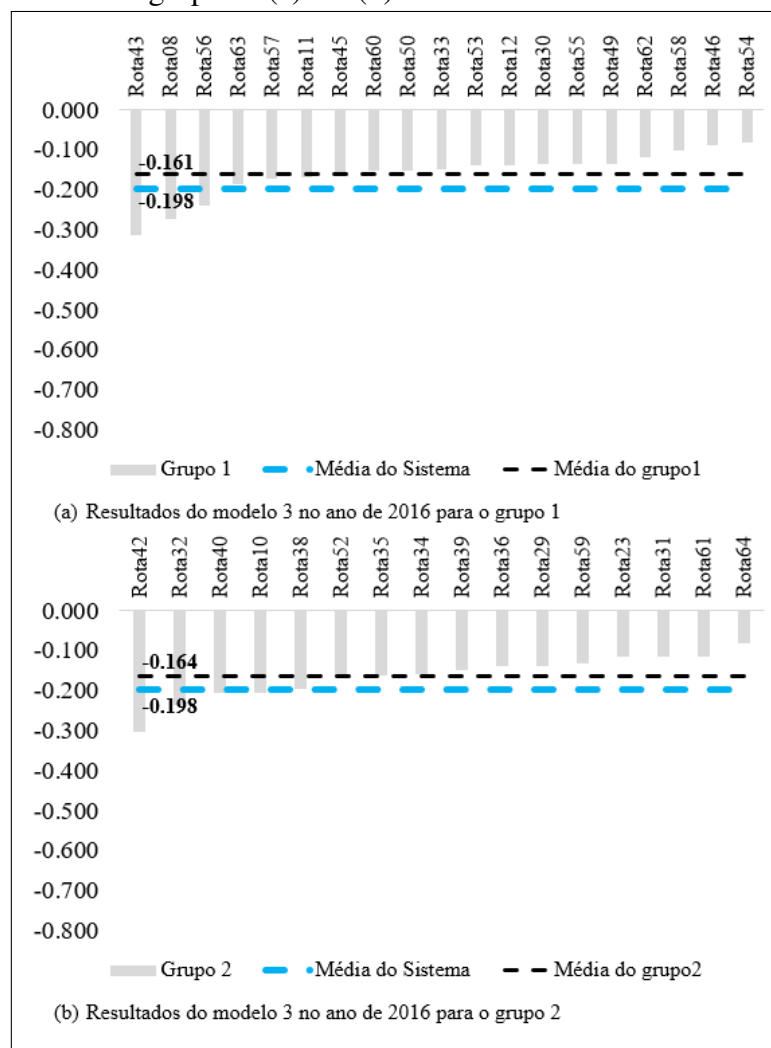
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

As figuras com resultados dos grupos 3 e 4 são apresentados no Apêndice G.

O grupo 3 teve apenas 1 rota com ineficiência extrema, 7 rotas eficientes e apresentou média de desempenho maior do que à média do sistema, no modelo 1. Nos resultados do modelo 2, o grupo teve média maior do que à média do sistema, 2 rotas com ineficiência extrema e 2 rotas eficientes, no estágio 1. No estágio 2, 11 das 15 rotas tiveram ineficiência extrema e nenhuma rota eficiente. No modelo 3, o grupo apresentou viés semelhante à média do sistema. Nos resultados do modelo 4, Figura 67, 2 das 15 rotas da empresa teve melhoria de produtividade e o valor médio do índice foi inferior à média do sistema, em 2016/2017.

O grupo 4 teve 6 rotas com ineficiência extrema, 2 rotas eficientes e apresentou média de desempenho menor do que à média do sistema, no modelo 1. Nos resultados do modelo 2, o grupo teve média menor do que à média do sistema, 11 rotas com ineficiência extrema e apenas 1 rota eficiente, no estágio 1. No estágio 2, 9 das 14 rotas tiveram ineficiência extrema e

Figura 66 – Resultados do modelo 3 no ano de 2016 para rotas dos grupos 1 (a) e 2 (b)



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

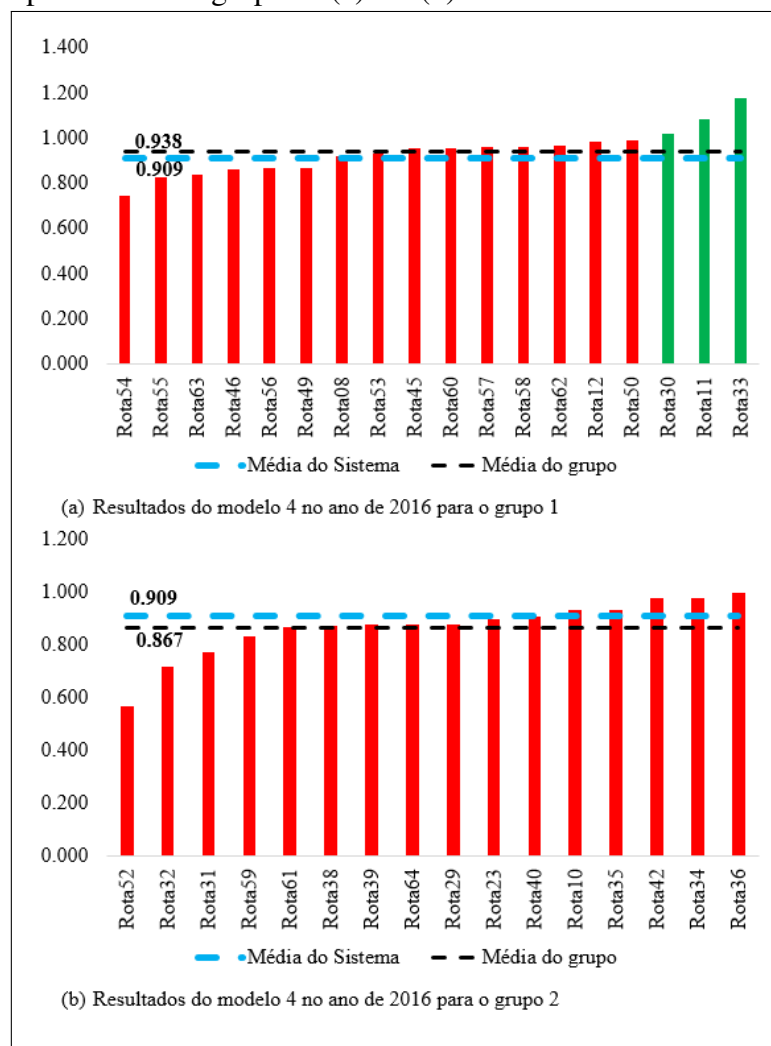
apenas 1 rota eficiente. No modelo 3, o grupo apresentou viés menor do que à média do sistema, ou seja, foi impactada mais negativamente pela variável externa população do que os demais grupos. Nos resultados do modelo 4, Figura 67, 5 das 13 rotas da empresa teve melhoria de produtividade e o valor médio do índice foi superior à média do sistema, em 2016/2017.

Tabela 18 – Resumo da média do índice de desempenho operacional por grupo de extensão de rotas no ano de 2016

Grupo de extensão	Modelo 1	Modelo2 ₁	Modelo2 ₂	Modelo3	Modelo4
1	0.821	0.763	0.548	-0.245	0.987
2	0.708	0.640	0.461	-0.219	0.872
3	0.862	0.698	0.372	-0.251	0.973
4	0.624	0.433	0.502	-0.357	1.163
Média geral	0.759	0.645	0.475	-0.264	0.991

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Figura 67 – Resultados do modelo 4 no período 2016/2017 para rotas dos grupos 1 (a) e 2 (b)



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

No modelo 1, os resultados demonstram que as rotas de menores extensões (grupo 1) tiveram melhor média de desempenho operacional. Já as rotas do grupo 4 apresentaram a menor média no período.

No modelo 2, o grupo 1 teve a menor média no estágio 1, enquanto os grupos 3 e 4 tiveram as melhores médias. Tal resultado, indica que quanto maior a extensão maior foi a eficiência no estágio 1.

Na análise de fatores externos (modelo 3), as rotas que compõem o grupo 3 foram as que tiveram maior média de influência de fatores externos no desempenho. Já as rotas do grupo 1, foram as que apresentaram menor influência, um dos motivos pode ser pela extensão menor das rotas e também pela área ter uma maior população.

Com relação à melhoria de produtividade, não há predominância de nenhum grupo, ao longo do período, houve alternância entre os 4 grupos com melhor média de crescimento de

produtividade.

7.4 Painel de visualização dos resultados

Com a obtenção dos resultados das 4 etapas e a discussão por empresa, corredor viário e extensão da rota, foi construído um painel de visualização dos resultados, onde é possível ter um panorama geral do resultado de cada rota, assim como categorização em cada etapa (eficiente, ineficiência moderada, ineficiência crítica e ineficiência extrema) e alerta de possíveis fragilidades que tornam a rota com ineficiência extrema.

O painel foi concebido após a tabulação dos resultados em planilha eletrônica que foi utilizada como dado de entrada para construção do painel através do *software powerBI desktop*. O *software* foi escolhido devido a facilidade para geração do painel, por não ser necessário a compra de licença e por ser bastante difundido como ferramenta de construção de painéis de visualização. Além da dinamicidade de se obter os resultados de qualquer rota selecionada, o painel permite ser atualizado periodicamente, para isso basta atualizar a planilha eletrônica e realizar a atualização do painel.

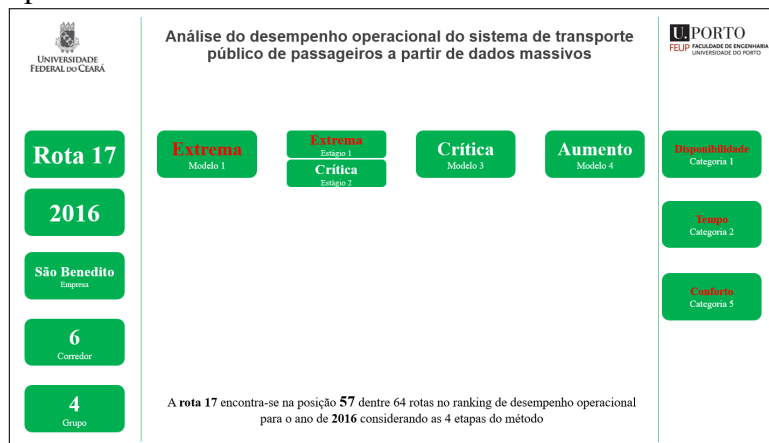
No painel, é possível selecionar a rota e o ano para o qual se deseja analisar o resultado do desempenho operacional. No lado esquerdo do painel, constam informações da empresa, corredor viário e grupo de extensão da rota selecionada. No centro do painel, constam os resultados dos quatro modelos analisados, de acordo com a classificação de ineficiência extrema, crítica, moderada ou eficiente para os modelos 1, 2 e 3 e redução ou aumento para o resultado do modelo 4. Na parte inferior do painel, apresenta a colocação da rota dentre todas as rotas do ano selecionado, considerando os quatro modelos. Por fim, na parte direita do painel tem as três categorias que representam os *inputs* utilizados, e caso os resultados dos modelos identifiquem necessidade de melhoria em um das categorias, a categoria que necessita de atenção ficará destacada.

A Figura 68 mostra o painel da rota 17 para o ano de 2016, que contém as informações da empresa, corredor viário e o grupo de extensão ao qual a rota pertence. No centro do painel, constam os resultados de cada modelo classificados de acordo com a situação (ineficiência extrema, crítica e moderada). Por fim, o lado esquerdo contém as três categorias analisadas como *inputs* (disponibilidade, tempo e conforto) e em qual (is) a rota no período em análise necessita de atenção para melhorar o desempenho operacional.

Além do resultado de cada modelo e a categoria que necessita de atenção, tam-

bém consta a posição de desempenho operacional da rota dentre todas as rotas analisadas no período. O painel de visualização com os resultados pode ser acessado através do endereço: powerbi_resultados.

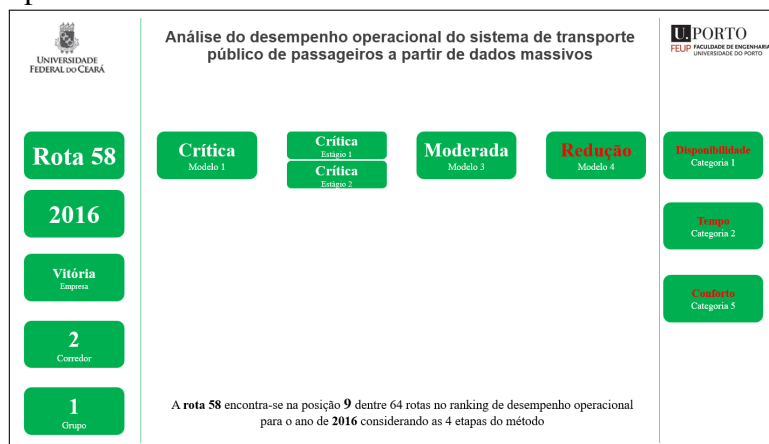
Figura 68 – Painel de visualização dos resultados da rota 17 para o ano de 2016



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

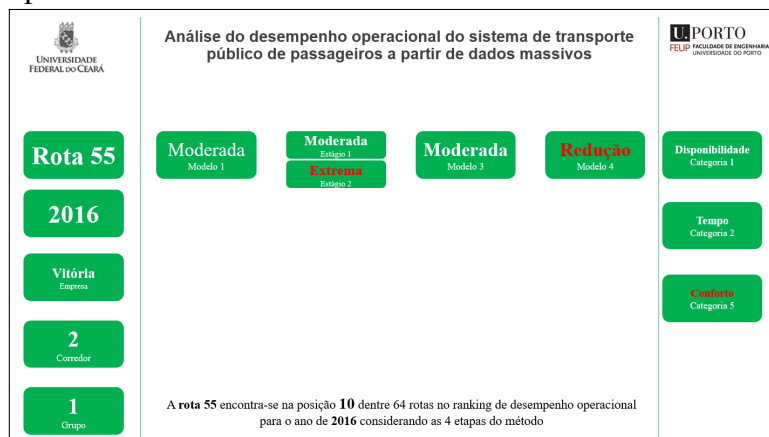
A Figura 69 e 70 mostram exemplos das rotas que tiveram ineficiência crítica e moderada. O painel de visualização visa compilar em um única tela os resultados, de maneira a permitir uma melhor compreensão pelos gestores e operadores do serviço.

Figura 69 – Painel de visualização dos resultados da rota 58 para o ano de 2016



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Figura 70 – Painel de visualização dos resultados da rota 55 para o ano de 2016



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

7.5 Conclusão

O presente capítulo apresenta os resultados de forma integrada dos quatro modelos aplicados, para obter uma melhor compreensão do desempenho operacional e quais pontos necessitam de atenção. A análise integrada foi realizada por empresa, corredor viário e extensão, aspectos que agrupam rotas com algumas características semelhantes.

A análise por empresa foi possível identificar como os recursos alocados nas rotas estão adequados ou se necessitam de melhor alocação para obter desempenho operacional eficiente. Além disso, foi possível analisar aspectos específicos de cada modelo entre as rotas da mesma companhia e avaliar em quais categorias necessita-se de maior atenção para ter uma melhora no desempenho operacional.

Já análise por corredor viário agrupou rotas que tem itinerários semelhantes e atendem perfil de população e região com mesmas características, considerando fatores externos à operação de transporte público. Com a análise, foi possível identificar rotas que atendem a determinada região que tiveram o desempenho operacional mais impactado pela população do que em outras localidades atendidas pelo transporte público.

Com relação a extensão de rota, foi possível comparar rotas agrupadas pelo tamanho da rota e analisar a influencia no desempenho operacional, além disso, permitiu comparar entre as rotas de extensão similares convergências e divergências no desempenho operacional. Por fim, foi concluída a análise e discussão do resultados com a construção do painel de visualização com o resultado de cada etapa, as categorias, alertas de fragilidades e posição geral das rotas. Com o painel, operadores e gestores visualizam os resultados de desempenho operacional de cada rota.

8 CONCLUSÕES

O presente capítulo apresenta as conclusões da pesquisa relativamente ao desempenho da operação do serviço de transporte público de passageiros analisadas no âmbito do estudo de caso. Foram apresentados a importância da aplicação e os resultados da metodologia aplicada para os operadores e gestores do transporte público e as principais contribuições desta tese. Devido a complexidade do transporte público, o estudo teve algumas limitações para construção da metodologia. Por fim, são abordados aspectos que podem ser desenvolvidos em futuras pesquisas na área de desempenho da operação de transporte público.

Dada as limitações de estudos de aplicação de modelos DEA na operação do transporte público, esta tese desenvolveu uma metodologia de análise de desempenho para avaliar os operadores e rotas que podem ser aplicadas em outros sistemas de transporte público, considerando aspectos relacionados a operação, ao espaço, ao longo do tempo e fatores externos.

A revisão dos estudos buscou realizar uma pesquisa a respeito das etapas do planejamento da operação do transporte público com os principais aspectos e resultados que compõem cada etapa que compreende desde ao projeto da rede de transporte público, à programação da rota, dos veículos e da tripulação e ao processo de coleta de dados. Com as pesquisas das etapas de planejamento, foi tornar evidente a importância do monitoramento da operação.

Outra etapa da revisão foi do desempenho operacional do transporte público com a apresentação de normativos técnicos e as categorias utilizadas na classificação de indicadores para analisar o desempenho da operação. Para a utilização no estudo, os indicadores de desempenho operacionais foram categorizados em 8 categorias, construídas com base nas referências apresentadas. Com o levantamento das indicadores mais utilizados por categoria, foi possível ter um painel de indicadores a serem utilizados de acordo com o objetivo da pesquisa e com os dados disponíveis. Por fim, também foi realizado uma revisão dos estudos que utilizaram análise envoltória de dados (DEA) no transporte público, com os principais métodos, variáveis e aplicações utilizadas, onde foi possível encontrar lacunas de pesquisas e assim avançar na construção da metodologia desenvolvida nesta tese.

A metodologia propôs uma análise integrada do desempenho operacional do transporte público de passageiros, como forma de saber a qualidade do serviço e que aspectos necessitam de uma melhor atenção dos operadores e gestores. O modelo DEA clássico permitiu analisar a operação com aspectos internos ao serviço, de maneira geral, com a obtenção das rotas eficientes e ineficientes, assim como as rotas de referências para as rotas ineficientes. Já

o modelo *Network DEA*, considerou a análise em dois estágios, sendo possível avaliar cada estágio, o que não era possível no primeiro modelo, onde no estágio 1 foram analisadas apenas variáveis relacionadas a oferta e no estágio 2 a relação oferta e demanda. Com a consideração de fatores externos, foi possível obter quais rotas sofrem mais influência de variáveis que não tem relação direta com a operação, ou seja, necessitam de alterações além do transporte público para melhorar o desempenho. Por fim, com o objetivo de analisar em um período de tempo maior, o modelo 4 considerou o desempenho ao longo do tempo para avaliar a consistência do resultado e se há alguma tendência. A proposta metodológica estabelece procedimentos para análise do desempenho da operação do transporte público de passageiros, com etapas padronizadas e definidas para ser referência de aplicação em outros sistemas.

A validação da aplicabilidade da metodologia foi realizada no sistema de transporte público de passageiros da Região Metropolitana de Fortaleza, sendo possível analisar cada etapa e os resultados obtidos. Com a obtenção dos resultados, foi construído um painel de visualização que contém as principais informações do desempenho operacional de cada rota, de maneira a tornar a análise dos resultados transparente e permitir uma melhor compreensão do desempenho da rota.

8.1 Contribuições

A pesquisa buscou preencher a lacuna da análise de desempenho da operação do sistema de transporte público. A fonte de dados utilizada foi dos dados massivos gerados a partir do sistema de bilhetagem eletrônica, onde contém um grande volume de dados e bastante informações operacionais da operação. Com o acesso aos dados de bilhetagem, será possível replicar a pesquisa para outros sistemas de transporte público. Além disso, foi possível integrar quatro análises de desempenho para obter um diagnóstico mais completo do desempenho operacional.

Com os objetivos alcançados, o estudo contribui cientificamente com a proposta de metodologia de análise de desempenho com ferramentas e dados que podem ser utilizados em outros locais ou aperfeiçoados com ajustes ou inserção de outras técnicas. Para o setor de transporte público, contribui com ferramenta que pode auxiliar na tomada de decisão baseado em dados e que permite ter uma resposta em um curto espaço de tempo, devido à obtenção dos dados serem imediatas e atualizadas.

8.2 Limitações

O estudo utilizou apenas dados quantitativos obtidos do sistema de bilhetagem eletrônica e de cadastro do transporte público para construção da metodologia. Logo, não foram considerados aspectos qualitativos, como por exemplo a opinião do usuário quanto ao nível de serviço. Apesar de ter relevância na qualidade da prestação do serviço, não se teve disponibilidade de dados relacionados à opinião do usuário e a pesquisa focou na utilização de dados disponíveis nos sistemas de transporte público e que fossem obtidos sem a necessidade de maiores custos, tendo em vista a situação de insustentabilidade econômica-financeira que enfrenta o setor, sendo difícil a imposição de maiores custos para realização de pesquisas.

Outra limitação foi a análise apenas do transporte público rodoviário, não sendo considerado outros modos e nem a relação com o transporte privado. Apesar de ser impactado por compartilhar o mesmo sistema viário e em algumas situações a mesma demanda, a pesquisa teve como foco utilizar dados relacionais à operação e apenas em um modelo a inserção de fatores externos, como forma de mostrar aos gestores e operadores que o desempenho de algumas rotas sofreram influência de fatores que não estão diretamente relacionados com o transporte público.

8.3 Perspectivas de trabalhos futuros

Como trabalhos futuros, um dos estudos é a aplicação em outros sistemas, de maneira a validar as etapas da metodologia proposta e realizar os ajustes necessários. Também pode ser analisado o desempenho por *clusters* de rotas homogêneas, de maneira a avaliar vantagens e desvantagens de realizar a análise de desempenho com todas as rotas ou por *clusters*.

Uma derivação da pesquisa seria a análise da segmentação dos dados por faixa horária (pico e fora pico), o que permitirá detalhar o desempenho operacional da rota e compreender se o índice de eficiência apresenta variação em determinadas faixa horária. Além disso, podem ser realizados estudos para finais de semana, feriados ou períodos de férias. Além da desagregação temporal, é possível realizar a divisão por sentido (ida e volta) de cada rota, o que permitirá analisar se há diferença de eficiência por sentido.

A continuidade do trabalho pode ser através da análise do desempenho pelo tipo de demanda (estudante, idoso, gênero, faixa etária, renda, etc.) para analisar se perfil da demanda influencia no desempenho operacional, quais rotas são eficientes e em que aspectos são

ineficientes. Outra possibilidade é a aplicação de outros métodos para análise do desempenho operacional do transporte público e comparação com a metodologia aplicada na tese.

REFERÊNCIAS

- ABDULLAH, M.; ALI, N.; SHAH, S. A. H.; JAVID, M. A.; CAMPISI, T. Service quality assessment of app-based demand-responsive public transit services in lahore, pakistan. **Applied Sciences**, MDPI, v. 11, n. 4, p. 1911, 2021.
- AIGNER, D.; LOVELL, C. K.; SCHMIDT, P. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. **Journal of econometrics**, Elsevier, v. 6, n. 1, p. 21–37, 1977.
- AIGNER, D. J.; CHU, S.-f. On estimating the industry production function. **The American Economic Review**, JSTOR, v. 58, n. 4, p. 826–839, 1968.
- ALLEN, J.; EBOLI, L.; MAZZULLA, G.; ORTÚZAR, J. d. D. Effect of critical incidents on public transport satisfaction and loyalty: an ordinal probit sem-mimic approach. **Transportation**, Springer, v. 47, n. 2, p. 827–863, 2020.
- ALLEN, J.; MUÑOZ, J. C.; ORTÚZAR, J. de D. On the effect of operational service attributes on transit satisfaction. **Transportation**, Springer, v. 47, n. 5, p. 2307–2336, 2020.
- ALMARDOOD, M. A.; MAGHELAL, P. Enhancing the use of transit in arid regions: Case of abu dhabi. **International Journal of Sustainable Transportation**, Taylor & Francis, v. 14, n. 5, p. 375–388, 2020.
- ALONSO, F.; FAUS, M.; CENDALES, B.; USECHE, S. A. Citizens' perceptions in relation to transport systems and infrastructures: A nationwide study in the dominican republic. **Infrastructures**, MDPI, v. 6, n. 11, p. 153, 2021.
- AMICCI, A. G. N.; FERNANDES, A.; MALBURG, C. H. R.; SANTOS, D. V.; ARALDI, F.; SOUZA, F. d. O.; PIERRO, L. F. D.; NAKAZAKI, M.; SILVA, N. A. A. d.; SANTANA, O.; VALENTE, V. B.; (BRASIL), B. N. de Desenvolvimento Econômico e S.; BANKENGRUPPE, K.; URBANA, B. S. N. de Transporte e da M. **Guia TPC: orientações para seleção de tecnologias e implementação de projetos de transporte público coletivo**. [S. l.]: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2018.
- ANDRADE-MICHEL, A.; RÍOS-SOLÍS, Y. A.; BOYER, V. Vehicle and reliable driver scheduling for public bus transportation systems. **Transportation Research Part B: Methodological**, Elsevier, v. 145, p. 290–301, 2021.
- ARAÚJO, C. E. F.; MARTINS, F. G. D.; SILVA, F. Análise exploratória da eficiência operacional de empresas do transporte rodoviário interestadual de passageiros por ônibus no brasil. In: **XXII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes–XII ANPET. Panorama Nacional de Pesquisa em Transportes–CD-ROM**. [S. l.: s. n.], 2008. v. 3.
- ARBEX, R. O.; CUNHA, C. B. da. Estimação da matriz origem-destino e da distribuição espacial da lotação em um sistema de transporte sobre trilhos a partir de dados de bilhetagem eletrônica. **Transportes**, v. 25, n. 3, p. 166–177, 2017.
- AZAMBUJA, A. M. V. d. *et al.* Análise de eficiência na gestão do transporte urbano por ônibus em municípios brasileiros. Florianópolis, SC, 2002.
- BAGCHI, M.; WHITE, P. R. The potential of public transport smart card data. **Transport Policy**, Elsevier, v. 12, n. 5, p. 464–474, 2005.

BANKER, R. D. Maximum likelihood, consistency and data envelopment analysis: a statistical foundation. **Management science**, INFORMS, v. 39, n. 10, p. 1265–1273, 1993.

BARNUM, D.; COUPET, J.; GLEASON, J.; MCWILLIAMS, A.; PARHANKANGAS, A. Bias in transport efficiency estimates caused by misspecified dea models. **Journal of Transport Economics and Policy (JTEP)**, Journal of Transport Economics and Policy, v. 55, n. 4, p. 356–373, 2021.

BARNUM, D. T.; KARLAFTIS, M. G.; TANDON, S. Improving the efficiency of metropolitan area transit by joint analysis of its multiple providers. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, Elsevier, v. 47, n. 6, p. 1160–1176, 2011.

BARNUM, D. T.; MCNEIL, S.; HART, J. Comparing the efficiency of public transportation subunits using data envelopment analysis. **Journal of Public Transportation**, v. 10, n. 2, p. 1, 2007.

BARRY, J. J.; FREIMER, R.; SLAVIN, H. Use of entry-only automatic fare collection data to estimate linked transit trips in new york city. **Transportation research record**, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 2112, n. 1, p. 53–61, 2009.

BARTMAN, K.; OGLE, J.; CHOWDHURY, M.; DUNNING, A. Transit system evaluation process: From planning to realization. **ITE Journal**, Institute of Transportation Engineers, 2011.

BATTY, M. **The new science of cities**. [S. l.]: Mit Press, 2013.

BEASLEY, J. E. Allocating fixed costs and resources via data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research**, Elsevier, v. 147, n. 1, p. 198–216, 2003.

BERGER, A. N.; HUMPHREY, D. B. Megamergers in banking and the use of cost efficiency as an antitrust defense. **The Antitrust Bulletin**, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 37, n. 3, p. 541–600, 1992.

BOUSSOFIANE, A.; DYSON, R. G.; THANASSOULIS, E. Applied data envelopment analysis. **European journal of operational research**, Elsevier, v. 52, n. 1, p. 1–15, 1991.

BRASIL. Lei brasileira que institui as diretrizes da política nacional de mobilidade urbana. 2012.

CALVO-POYO, F.; MEDIALDEA, A.; FERRI-GARCÍA, R. Citizens' opinion about investment in public transport projects in cities. **International Journal of Sustainable Transportation**, Taylor & Francis, v. 14, n. 10, p. 806–818, 2020.

CAMANHO, A. **Performance measurement and improvement in the management of bank branch networks using Data Envelopment Analysis**. Tese (Doutorado) – University of Warwick, 1999.

CARTER, D. N.; LOMAX, T. J. Development and application of performance measures for rural public transportation operators. **Transportation Research Record**, v. 1338, p. 28–36, 1992.

CAVAIGNAC, L.; PETIOT, R. A quarter century of data envelopment analysis applied to the transport sector: A bibliometric analysis. **Socio-Economic Planning Sciences**, Elsevier, v. 57, p. 84–96, 2017.

CAVES, D. W.; CHRISTENSEN, L. R.; DIEWERT, W. E. The economic theory of index numbers and the measurement of input, output, and productivity. **Econometrica: Journal of the Econometric Society**, JSTOR, p. 1393–1414, 1982.

CEDER, A. Public transit planning and operation: Theory. **Modeling and practice**. Oxford: Elsevier, 2007.

CEN/TC320. **Transportation-Logistics and Services-Public Passenger Transport-Service Quality Definition, Targeting and Measurement**. [S. l.]: European Committee for Standardisation, 2002.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European journal of operational research**, Elsevier, v. 2, n. 6, p. 429–444, 1978.

CHAUHAN, V.; GUPTA, A.; PARIDA, M. Demystifying service quality of multimodal transportation hub (mmth) through measuring users' satisfaction of public transport. **Transport Policy**, Elsevier, v. 102, p. 47–60, 2021.

CHERANCHERY, M. F.; KRISHNAN, M. G.; NAVAS, K. A.; SHAHID, P. M.; SURESH, R. Investigating the impact of covid-19 on user perception for deriving policies and intervention areas for urban bus service in india. **Case Studies on Transport Policy**, Elsevier, v. 9, n. 4, p. 1965–1973, 2021.

CHERANCHERY, M. F.; MAITRA, B. Improving quality of ordinary bus service in kolkata city: Integrating conflicting requirements of users and transit operator. **Transport Policy**, Elsevier, v. 111, p. 17–27, 2021.

CIPRIANI, E.; FUSCO, G.; PATELLA, S. M.; PETRELLI, M. A particle swarm optimization algorithm for the solution of the transit network design problem. **Smart Cities**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 3, n. 2, p. 541–555, 2020.

COMPUTING, R. F. for S. **R: A language and environment for statistical computing**. 2020.

COOK, W. D.; GREEN, R. H. Evaluating power plant efficiency: a hierarchical model. **Computers & Operations Research**, Elsevier, v. 32, n. 4, p. 813–823, 2005.

COSTA, C. S.; PITOMBO, C. S.; SOUZA, F. L. U. d. Travel behavior before and during the covid-19 pandemic in brazil: Mobility changes and transport policies for a sustainable transportation system in the post-pandemic period. **Sustainability**, MDPI, v. 14, n. 8, p. 4573, 2022.

DAKIC, I.; LECLERCQ, L.; MENENDEZ, M. On the optimization of the bus network design: An analytical approach based on the three-dimensional macroscopic fundamental diagram. **Transportation Research Part B: Methodological**, Elsevier, v. 149, p. 393–417, 2021.

DALTON, D.; NESTLER, J.; NORDBO, J.; CLAIR, B. S.; WITTWER, E.; WOLFGRAM, M. Transportation data and performance measurement. In: **Transportation Research Board Conference Proceedings**. [S. l.: s. n.], 2001.

DAWDA, N. H.; GAJERA, H.; JOSHI, G. J.; ARKATKAR, S. S.; DAVE, S. K. M. Efficiency based evaluation of public transport and paratransit systems with a view to integrating transportation. **Transportation Research Record**, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 2675, n. 3, p. 17–32, 2021.

DE-LOS-SANTOS, A.; CANCA, D.; BARRENA, E. Mathematical formulations for the bimodal bus-pedestrian social welfare network design problem. **Transportation research part B: methodological**, Elsevier, v. 145, p. 302–323, 2021.

DEBNATH, P. A qgis-based road network analysis for sustainable road network infrastructure: An application to the cachar district in assam, india. **Infrastructures**, MDPI, v. 7, n. 9, p. 114, 2022.

DEMPSEY, D.; STEPHEN, P. Privacy issues with the use of smart cards. **Available at SSRN 3295908**, 2007.

DEPRINS, D.; SIMAR, L. **Measuring labor efficiency in post offices, The Performance of Public Enterprises: Concepts and Measurements**, M. Marchand, P. Pestieau and H. Tulkens. [S. l.]: Amsterdam, North (Holland, 243 (267, 1984.

DÍAZ, G.; CHARLES, V. Regulatory design and technical efficiency: public transport in france. **Journal of Regulatory Economics**, Springer, v. 50, n. 3, p. 328–350, 2016.

DULEBA, S.; MOSLEM, S. User satisfaction survey on public transport by a new pahp based model. **Applied Sciences**, MDPI, v. 11, n. 21, p. 10256, 2021.

DYSON, R. G.; ALLEN, R.; CAMANHO, A. S.; PODINOVSKI, V. V.; SARRICO, C. S.; SHALE, E. A. Pitfalls and protocols in dea. **European Journal of operational research**, Elsevier, v. 132, n. 2, p. 245–259, 2001.

EBOLI, L.; MAZZULLA, G. Performance indicators for an objective measure of public transport service quality. 2012.

ECHANIZ, E.; CORDERA, R.; RODRIGUEZ, A.; NOGUÉS, S.; COPPOLA, P.; DELL'OLIO, L. Spatial and temporal variation of user satisfaction in public transport systems. **Transport Policy**, Elsevier, v. 117, p. 88–97, 2022.

EL-GENEIDY, A.; HORNING, J.; KRIZEK, K. Using archived its data to improve transit performance and management. Minnesota Department of Transportation, 2007.

ESMAILPOUR, J.; AGHABAYK, K.; AGHAJANZADEH, M.; GRUYTER, C. D. Has covid-19 changed our loyalty towards public transport? understanding the moderating role of the pandemic in the relationship between service quality, customer satisfaction and loyalty. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, Elsevier, 2022.

ESMAILPOUR, J.; AGHABAYK, K.; VAJARI, M. A.; GRUYTER, C. D. Importance–performance analysis (ipa) of bus service attributes: A case study in a developing country. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, Elsevier, v. 142, p. 129–150, 2020.

ESTRADA, M.; MENSION, J.; SALICRÚ, M. Operation of transit corridors served by two routes: Physical design, synchronization, and control strategies. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, Elsevier, v. 130, p. 103283, 2021.

FARAZI, N. P.; MURSHED, M. N.; HADIUZZAMAN, M. Application of machine learning to investigate heterogeneity in users' perception of intercity train service quality in developing countries. **Case Studies on Transport Policy**, Elsevier, v. 10, n. 1, p. 227–238, 2022.

FÄRE, R.; GRABOWSKI, R.; GROSSKOPF, S.; KRAFT, S. Efficiency of a fixed but allocatable input: A non-parametric approach. **Economics Letters**, Elsevier, v. 56, n. 2, p. 187–193, 1997.

FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; LINDGREN, B.; ROOS, P. Productivity developments in swedish hospitals: a malmquist output index approach. In: **Data envelopment analysis: Theory, methodology, and applications**. [S. l.]: Springer, 1994. p. 253–272.

FÄRE, R.; WHITTAKER, G. An intermediate input model of dairy production using complex survey data. **Journal of agricultural economics**, Wiley Online Library, v. 46, n. 2, p. 201–213, 1995.

FARRELL, M. J. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)**, Wiley Online Library, v. 120, n. 3, p. 253–281, 1957.

FENSTERSEIFER, J. E. Eficiência e eficácia no transporte público urbano. **Revista dos transportes públicos - ANTP**, Associação Nacional dos Transportes Públicos ANTP: Brasil, n. 34, p. 7–24, 1986.

FIELDING, G. J. **Managing public transit strategically. A comprehensive approach to strengthening service and monitoring performance**. [S. l.: s. n.], 1987.

FIELDING, G. J.; GLAUTHIER, R. E.; LAVE, C. A. Performance indicators for transit management. **Transportation**, Springer, v. 7, n. 4, p. 365–379, 1978.

FITZOVÁ, H.; MATULOVÁ, M. Comparison of urban public transport systems in the czech republic and slovakia: Factors underpinning efficiency. **Research in Transportation Economics**, Elsevier, v. 81, p. 100824, 2020.

FITZOVÁ, H.; MATULOVÁ, M.; TOMEŠ, Z. Determinants of urban public transport efficiency: case study of the czech republic. **European Transport Research Review**, SpringerOpen, v. 10, n. 2, p. 1–11, 2018.

FRIED, H. O.; LOVELL, C. K.; SCHMIDT, S. S.; YAISAWARNG, S. Accounting for environmental effects and statistical noise in data envelopment analysis. **Journal of productivity Analysis**, Springer, v. 17, n. 1, p. 157–174, 2002.

FRIED, H. O.; SCHMIDT, S. S.; YAISAWARNG, S. Incorporating the operating environment into a nonparametric measure of technical efficiency. **Journal of productivity Analysis**, Springer, v. 12, n. 3, p. 249–267, 1999.

FU, X. What should we do to enhance your loyalty if you are (dis) satisfied with public transit service? **Travel Behaviour and Society**, Elsevier, v. 26, p. 28–40, 2022.

FURTH, P. G. **Data analysis for bus planning and monitoring**. [S. l.]: Transportation Research Board, 2000.

GEERLINGS, H.; KLEMENTSCHITZ, R.; MULLEY, C. Development of a methodology for benchmarking public transportation organisations: a practical tool based on an industry sound methodology. **Journal of cleaner production**, Elsevier, v. 14, n. 2, p. 113–123, 2006.

GKIOTSALITIS, K. Bus scheduling considering trip-varying travel times, vehicle availability and capacity. **IET Intelligent Transport Systems**, IET, v. 14, n. 12, p. 1594–1605, 2020.

GKIOTSALITIS, K. Stop-skipping in rolling horizons. **Transportmetrica A: Transport Science**, Taylor & Francis, v. 17, n. 4, p. 492–520, 2021.

- GKIOTSALITIS, K.; CATS, O. Optimal frequency setting of metro services in the age of covid-19 distancing measures. **Transportmetrica A: Transport Science**, Taylor & Francis, p. 1–21, 2021.
- GKIOTSALITIS, K.; CATS, O. Public transport planning adaption under the covid-19 pandemic crisis: literature review of research needs and directions. **Transport Reviews**, Taylor & Francis, v. 41, n. 3, p. 374–392, 2021.
- GLEASON, J. M.; BARNUM, D. T. Toward valid measures of public sector productivity: performance measures in urban transit. **Management science**, INFORMS, v. 28, n. 4, p. 379–386, 1982.
- GODACHEVICH, J.; TIRACHINI, A. Does the measured performance of bus operators depend on the index chosen to assess reliability in contracts? an analysis of bus headway variability. **Research in Transportation Economics**, Elsevier, v. 90, p. 101000, 2021.
- GÜNER, S.; COŞKUN, E. Determining the best performing benchmarks for transit routes with a multi-objective model: the implementation and a critique of the two-model approach. **Public Transport**, Springer, v. 8, n. 2, p. 205–224, 2016.
- GUZMAN, L. A.; CANTILLO-GARCIA, V. A.; ARELLANA, J.; SARMIENTO, O. L. User expectations and perceptions towards new public transport infrastructure: evaluating a cable car in bogotá. **Transportation**, Springer, p. 1–21, 2022.
- HANUMAPPA, D.; RAMACHANDRAN, P.; SITHARAM, T.; LAKSHMANA, S. Performance evaluation of bangalore metropolitan transport corporation: an application of data envelopment analysis. **Journal of Public Transportation**, v. 18, n. 2, p. 1, 2015.
- HE, L.; YANG, D.; LI, J. Improving the service quality of public transit with exclusive bus lanes: A perspective from passenger satisfaction. **Journal of Advanced Transportation**, Hindawi, v. 2021, 2021.
- HEIL, J.; HOFFMANN, K.; BUSCHER, U. Railway crew scheduling: Models, methods and applications. **European Journal of Operational Research**, Elsevier, v. 283, n. 2, p. 405–425, 2020.
- HÖRCHER, D.; TIRACHINI, A. A review of public transport economics. **Economics of Transportation**, Elsevier, v. 25, p. 100196, 2021.
- IBARRA-ROJAS, O. J.; DELGADO, F.; GIESEN, R.; MUÑOZ, J. C. Planning, operation, and control of bus transport systems: A literature review. **Transportation Research Part B: Methodological**, Elsevier, v. 77, p. 38–75, 2015.
- IRAWAN, M. Z.; BASTARIANTO, F. F.; RIZKI, M.; BELGIAWAN, P. F.; JOEWONO, T. B. Exploring the frequency of public transport use among adolescents: A study in yogyakarta, indonesia. **International Journal of Sustainable Transportation**, Taylor & Francis, p. 1–11, 2021.
- KARIM, Z.; FOUAD, J. Measuring urban public transport performance on route level: A literature review. In: EDP SCIENCES. **MATEC Web of Conferences**. [S. l.], 2018. v. 200, p. 00021.

KITTELSON, A.; ADMINISTRATION, U. S. . F. T.; PROGRAM, T. C. R.; CORPORATION, T. D. **Transit capacity and quality of service manual**. [S. l.]: Transportation Research Board, 2003. v. 42.

KITTELSON, A.; ADMINISTRATION, U. S. F. T.; PROGRAM, T. C. R.; CORPORATION, T. D. **A guidebook for developing a transit performance-measurement system**. [S. l.]: Transportation Research Board, 2003. v. 88.

KOOPMANS, T. C. Efficient allocation of resources. **Econometrica: Journal of the Econometric Society**, JSTOR, p. 455–465, 1951.

KORHONEN, P.; SYRJÄNEN, M. Resource allocation based on efficiency analysis. **Management Science**, INFORMS, v. 50, n. 8, p. 1134–1144, 2004.

LAN, J.; XUE, Y.; FANG, D.; ZHENG, Q. Optimal strategies for elderly public transport service based on impact-asymmetry analysis: A case study of harbin. **Sustainability**, MDPI, v. 14, n. 3, p. 1320, 2022.

LE, H. T.; CARREL, A. L.; LI, M. How much dissatisfaction is too much for transit? linking transit user satisfaction and loyalty using panel data. **Travel Behaviour and Society**, Elsevier, v. 20, p. 144–154, 2020.

LEE, C.; NAIR, R. Robust transit line planning based on demand estimates obtained from mobile phones. **EURO Journal on Transportation and Logistics**, Elsevier, v. 10, p. 100034, 2021.

LEE, E. H.; LEE, H.; KHO, S.-Y.; KIM, D.-K. Evaluation of transfer efficiency between bus and subway based on data envelopment analysis using smart card data. **KSCE Journal of Civil Engineering**, Springer, v. 23, n. 2, p. 788–799, 2019.

LIN, J.; WANG, P.; BARNUM, D. T. A quality control framework for bus schedule reliability. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, Elsevier, v. 44, n. 6, p. 1086–1098, 2008.

LIN, M.; HSU, W.-J. Mining gps data for mobility patterns: A survey. **Pervasive and mobile computing**, Elsevier, v. 12, p. 1–16, 2014.

LIU, J. S.; LU, L. Y.; LU, W.-M.; LIN, B. J. A survey of dea applications. **Omega**, Elsevier, v. 41, n. 5, p. 893–902, 2013.

LIU, X.; ZHOU, Y.; RAU, A. Smart card data-centric replication of the multi-modal public transport system in singapore. **Journal of Transport Geography**, Elsevier, v. 76, p. 254–264, 2019.

LIU, Y.; CHIEN, S.; HU, D.; WANG, N.; ZHANG, R. Developing an extenics-based model for evaluating bus transit system. **Journal of Advanced Transportation**, Hindawi, v. 2020, 2020.

LODER, A.; BLIEMER, M. C.; AXHAUSEN, K. W. Optimal pricing and investment in a multi-modal city—introducing a macroscopic network design problem based on the mfd. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, Elsevier, v. 156, p. 113–132, 2022.

LÓPEZ, J. J. D. O.; LÓPEZ, R. d. O. *et al.* Is it possible to attract private vehicle users towards public transport? understanding the key role of service quality, satisfaction and involvement on behavioral intentions. Springer, 2022.

- LÖTHGREN, M.; TAMBOUR, M. Productivity and customer satisfaction in swedish pharmacies: A dea network model. **European Journal of Operational Research**, Elsevier, v. 115, n. 3, p. 449–458, 1999.
- LOZANO, S.; VILLA, G.; ADENSO-DIAZ, B. Centralised target setting for regional recycling operations using dea. **Omega**, Elsevier, v. 32, n. 2, p. 101–110, 2004.
- MANDHANI, J.; NAYAK, J. K.; PARIDA, M. Interrelationships among service quality factors of metro rail transit system: An integrated bayesian networks and pls-sem approach. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, Elsevier, v. 140, p. 320–336, 2020.
- MANSER, P.; BECKER, H.; HÖRL, S.; AXHAUSEN, K. W. Designing a large-scale public transport network using agent-based microsimulation. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, Elsevier, v. 137, p. 1–15, 2020.
- MEYER, M. Measuring that which cannot be measured—at least according to conventional wisdom. In: **Transportation Research Board Conference Proceedings**. [S. l.: s. n.], 2001.
- MO, S.; BAO, Z.; ZHENG, B.; PENG, Z. Towards an optimal bus frequency scheduling: When the waiting time matters. **IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering**, IEEE, 2020.
- MOSLEM, S.; ALKHARABSHEH, A.; ISMAEL, K.; DULEBA, S. An integrated decision support model for evaluating public transport quality. **Applied Sciences**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 10, n. 12, p. 4158, 2020.
- MUÑIZ, M. Separating managerial inefficiency and external conditions in data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research**, Elsevier, v. 143, n. 3, p. 625–643, 2002.
- NEUFELD, J. S.; SCHEFFLER, M.; TAMKE, F.; HOFFMANN, K.; BUSCHER, U. An efficient column generation approach for practical railway crew scheduling with attendance rates. **European Journal of Operational Research**, Elsevier, v. 293, n. 3, p. 1113–1130, 2021.
- NGUYEN-PHUOC, D. Q.; TRAN, A. T. P.; NGUYEN, T. V.; LE, P. T.; SU, D. N. Investigating the complexity of perceived service quality and perceived safety and security in building loyalty among bus passengers in vietnam—a pls-sem approach. **Transport policy**, Elsevier, v. 101, p. 162–173, 2021.
- NI, A.; ZHANG, C.; HU, Y.; LU, W.; LI, H. Influence mechanism of the corporate image on passenger satisfaction with public transport in china. **Transport Policy**, Elsevier, v. 94, p. 54–65, 2020.
- NIKEL, C.; ELDEEB, G.; MOHAMED, M. Perceived quality of bus transit services: a route-level analysis. **Transportation Research Record**, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 2674, n. 2, p. 79–91, 2020.
- NUNES, A. A.; DIAS, T. G.; CUNHA, J. F. e. Passenger journey destination estimation from automated fare collection system data using spatial validation. **IEEE transactions on intelligent transportation systems**, IEEE, v. 17, n. 1, p. 133–142, 2015.
- OLOWOSEGUN, A.; MOYO, D.; GOPINATH, D. Multicriteria evaluation of the quality of service of informal public transport: An empirical evidence from ibadan, nigeria. **Case Studies on Transport Policy**, Elsevier, v. 9, n. 4, p. 1518–1530, 2021.

OLSSON, L. E.; FRIMAN, M.; LÄTTMAN, K.; FUJII, S. Travel and life satisfaction-from gen z to the silent generation. **Journal of Transport & Health**, Elsevier, v. 18, p. 100894, 2020.

OÑA, J. D. Understanding the mediator role of satisfaction in public transport: A cross-country analysis. **Transport policy**, Elsevier, v. 100, p. 129–149, 2021.

OÑA, J. D.; ESTÉVEZ, E.; OÑA, R. D. Public transport users versus private vehicle users: Differences about quality of service, satisfaction and attitudes toward public transport in madrid (spain). **Travel Behaviour and Society**, Elsevier, v. 23, p. 76–85, 2021.

OÑA, J. de. Service quality, satisfaction and behavioral intentions towards public transport from the point of view of private vehicle users. **Transportation**, Springer, v. 49, n. 1, p. 237–269, 2022.

OÑA, J. de; ESTÉVEZ, E.; OÑA, R. de. How does private vehicle users perceive the public transport service quality in large metropolitan areas? a european comparison. **Transport Policy**, Elsevier, v. 112, p. 173–188, 2021.

PEARSON, R. K. **Exploratory data analysis using R**. [S. l.]: CRC Press, 2018.

PELLETIER, M.-P.; TRÉPANIÉ, M.; MORENCY, C. Smart card data use in public transit: A literature review. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, Elsevier, v. 19, n. 4, p. 557–568, 2011.

PRATA, B. d. A. *et al.* Uma nova abordagem para a programação integrada de veículos e tripulações. 2011.

RAM, Y.; GAL-TZUR, A.; RECHAVI, A. Identifying attributes of public transport services for urban tourists: A data-mining method. **Journal of Transport Geography**, Elsevier, v. 93, p. 103069, 2021.

RANJBARI, A.; HICKMAN, M.; CHIU, Y.-C. A network design problem formulation and solution procedure for intercity transit services. **Transportmetrica A: Transport Science**, Taylor & Francis, v. 16, n. 3, p. 1156–1175, 2020.

RAY, S. C. Resource-use efficiency in public schools: A study of connecticut data. **Management science**, INFORMS, v. 37, n. 12, p. 1620–1628, 1991.

RINALDI, M.; PICARELLI, E.; D'ARIANO, A.; VITI, F. Mixed-fleet single-terminal bus scheduling problem: Modelling, solution scheme and potential applications. **Omega**, Elsevier, v. 96, p. 102070, 2020.

ROLF, F. Network dea. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 34, p. 35–49, 2000.

RUGGIERO, J. On the measurement of technical efficiency in the public sector. **European journal of operational research**, Elsevier, v. 90, n. 3, p. 553–565, 1996.

RUGGIERO, J. Performance evaluation when non-discretionary factors correlate with technical efficiency. **European Journal of Operational Research**, Elsevier, v. 159, n. 1, p. 250–257, 2004.

SAEIDI, T.; MESBAH, M.; HABIBIAN, M. Sequenced ordered logit model considering latent variables for determining trip satisfaction of metro passengers. **Transportation Research Record**, Sage Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 2674, n. 9, p. 755–766, 2020.

SAMPAIO, B. R.; SAMPAIO, Y.; SAMPAIO, L. Eficiência de sistemas de transporte público no nordeste com análise envoltória de dados (dea). **Revista Econômica do Nordeste**, v. 37, n. 2, p. 261–275, 2006.

SANTOS, J. B. dos; LIMA, J. P. Quality of public transportation based on the multi-criteria approach and from the perspective of user's satisfaction level: A case study in a brazilian city. **Case Studies on Transport Policy**, Elsevier, v. 9, n. 3, p. 1233–1244, 2021.

SHABANI, A.; SHABANI, A.; AHMADINEJAD, B.; SALMASNIA, A. Measuring the customer satisfaction of public transportation in tehran during the covid-19 pandemic using mcdm techniques. **Case studies on transport policy**, Elsevier, 2022.

SHETH, C.; TRIANTIS, K.; TEODOROVIĆ, D. Performance evaluation of bus routes: A provider and passenger perspective. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, Elsevier, v. 43, n. 4, p. 453–478, 2007.

SIMAR, L.; WILSON, P. W. Sensitivity analysis of efficiency scores: How to bootstrap in nonparametric frontier models. **Management science**, INFORMS, v. 44, n. 1, p. 49–61, 1998.

SOUSAJÚNIOR, J. N. C. d.; DIAS, T. G.; FILHO, M. A. Nunes de A. Operational performance analysis of the public transport system over time. **Infrastructures**, MDPI, v. 8, n. 5, p. 82, 2023.

STUDIO3T. **Studio3T**. 2020.

SUKHOV, A.; LÄTTMAN, K.; OLSSON, L. E.; FRIMAN, M.; FUJII, S. Assessing travel satisfaction in public transport: A configurational approach. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, Elsevier, v. 93, p. 102732, 2021.

SUKHOV, A.; OLSSON, L. E.; FRIMAN, M. Necessary and sufficient conditions for attractive public transport: Combined use of pls-sem and nca. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, Elsevier, v. 158, p. 239–250, 2022.

SUN, D.; CHEN, S.; ZHANG, C.; SHEN, S. A bus route evaluation model based on gis and super-efficient data envelopment analysis. **Transportation Planning and Technology**, Taylor & Francis, v. 39, n. 4, p. 407–423, 2016.

SUN, Y.; SHI, J.; SCHONFELD, P. M. Identifying passenger flow characteristics and evaluating travel time reliability by visualizing afc data: a case study of shanghai metro. **Public Transport**, Springer, v. 8, n. 3, p. 341–363, 2016.

TANG, J.; YANG, Y.; HAO, W.; LIU, F.; WANG, Y. A data-driven timetable optimization of urban bus line based on multi-objective genetic algorithm. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, IEEE, v. 22, n. 4, p. 2417–2429, 2020.

TANG, T.; LIU, R.; CHOUDHURY, C. Incorporating weather conditions and travel history in estimating the alighting bus stops from smart card data. **Sustainable Cities and Society**, Elsevier, v. 53, p. 101927, 2020.

TAVARES, V. B.; LUCCHESI, S. T.; LARRAÑAGA, A. M.; CYBIS, H. B. B. Influence of public transport quality attributes on user satisfaction of different age cohorts. **Case studies on transport policy**, Elsevier, v. 9, n. 3, p. 1042–1050, 2021.

TRAN, K. D.; BHASKAR, A.; BUNKER, J.; LEE, B. Data envelopment analysis (dea) based transit routes performance evaluation. In: TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (TRB). **Proceedings of the Transportation Research Board (TRB) 96th Annual Meeting**. [S. l.], 2017. p. 1–23.

TRÉPANIÉ, M.; TRANCHANT, N.; CHAPLEAU, R. Individual trip destination estimation in a transit smart card automated fare collection system. **Journal of Intelligent Transportation Systems**, Taylor & Francis, v. 11, n. 1, p. 1–14, 2007.

VUCHIC, V. R. **Urban transit systems and technology**. [S. l.]: John Wiley & Sons, 2007.

WANG, B.; LIU, C.; ZHANG, H. Where are equity and service effectiveness? a tale from public transport in shanghai. **Journal of Transport Geography**, Elsevier, v. 98, p. 103275, 2022.

WU, W.; LIN, Y.; LIU, R.; JIN, W. The multi-depot electric vehicle scheduling problem with power grid characteristics. **Transportation Research Part B: Methodological**, Elsevier, v. 155, p. 322–347, 2022.

XIONG, J.; BAI, C.; GUAN, W.; CHEN, Y.; XU, Y. Mixed optimization on vehicle scheduling and recharge scheduling of plug-in electric buses with consideration of partial recharge. **Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems**, American Society of Civil Engineers, v. 148, n. 2, p. 04021111, 2022.

ZAK, J. The methodology of multiple criteria decision making/aiding in public transportation. **Journal of Advanced Transportation**, Wiley Online Library, v. 45, n. 1, p. 1–20, 2011.

ZHANG, A.; LI, T.; ZHENG, Y.; LI, X.; ABDULLAH, M. G.; DONG, C. Mixed electric bus fleet scheduling problem with partial mixed-route and partial recharging. **International Journal of Sustainable Transportation**, Taylor & Francis, v. 16, n. 1, p. 73–83, 2022.

ZHANG, Y.; MARTENS, K.; LONG, Y. Revealing group travel behavior patterns with public transit smart card data. **Travel Behaviour and Society**, Elsevier, v. 10, p. 42–52, 2018.

ZHOU, J.; SIPE, N.; MA, Z.; MATEO-BABIANO, D.; DARCHEN, S. Monitoring transit-served areas with smartcard data: A brisbane case study. **Journal of Transport Geography**, Elsevier, v. 76, p. 265–275, 2019.

ZHU, W.; YANG, X.; PRESTON, J. Efficiency measurement of bus routes and exogenous operating environment effects on efficiency. **Transportation Planning and Technology**, Taylor & Francis, v. 39, n. 5, p. 464–483, 2016.

**APÊNDICE A – CLASSIFICAÇÃO DAS PUBLICAÇÕES DE ACORDO COM AS
CATEGORIAS DA TABELA 1**

Año	Autores		doi	Cat. 1	Cat. 2	Cat. 3	Cat. 4	Cat. 5	Cat. 6	Cat. 7	Cat. 8	Sem categoria	Total
2019	Yuan, Yalong, Yang, Min, Wu, Jingxian, Rasouli, Soora, Lei, Da		10.1080/15568318.2018.1512691	1	1	1	1	4	0	0	0	2	10
2019	Chen, Yuan, Bouferguene, Ahmed, Shen, Yinghua, Al-Husseini, Mohamed		10.1016/j.scs.2018.10.003	3	0	0	0	0	0	0	0	2	5
2019	Alkharabsheh, Ahmad, Moslem, Sarbast, Duleba, Szaboies		10.3390/app9224759	2	2	2	3	5	0	0	0	5	19
2019	Mohammadi, Alireza, Elsaid, Feras, Amador-Jimenez, Luis		10.1080/15568318.2018.1486488	0	0	1	1	1	1	0	0	1	5
2019	Li, Jiamin, Xu, Xinyue, Yao, Zhenxing, Lu, Yi		10.1109/ACCESS.2019.2932779	1	2	1	0	2	0	0	0	2	8
2019	Jasti, Pradeep Chaitanya, Ram, V. Vinayaka		10.1007/s12469-019-00219-8	3	3	1	1	3	5	0	1	12	29
2019	Blaz, Janez, Zajc, Klemen, Zupan, Samo, Ambroz, Miha		10.3390/su11123294	1	2	0	0	1	1	0	0	3	8
2019	Borjesson, Maria, Rubenson, Isak		10.1016/j.tranpol.2019.05.010	0	1	0	1	6	0	0	0	1	9
2019	Allen, Jaime, Carlos Munoz, Juan, de Dios Ortizar, Juan		10.1016/j.tranpol.2019.06.005	2	3	1	2	5	0	0	2	0	15
2019	Echaniz, Eneko, Ho, Chinh O., Rodriguez, Andres, dell'Olio, Luigi		10.1016/j.tra.2019.10.012	3	5	0	2	6	1	0	1	6	24
2019	Allen, Jaime, Carlos Munoz, Juan, Rosell, Jordi		10.1016/j.tra.2019.04.002	2	2	2	3	5	0	0	0	1	15
2019	Zhang C., Liu Y., Lu W., Xiao G.		10.1016/j.tra.2018.12.013	2	3	0	2	3	0	0	1	3	14
2019	Ingvardson J.B., Nielsen O.A.		10.1016/j.tra.2019.05.016	1	4	2	3	4	1	0	1	3	19
2019	Monast, Kai, Stanfield, Charlie		10.1177/0361198119829410	1	1	1	1	1	0	2	0	0	8
2019	Li, Linbo, Cao, Mengfei, Bai, Yufang, Song, Ziqi		10.1177/0361198119825648	1	2	1	0	1	1	0	0	1	7
2019	Quddus, Mohammed, Rahman, Farzana, Monsuur, Fredrik, de Ona, Juan, Enoch, Marcus		10.1177/0361198119825846	4	4	0	0	3	2	0	2	2	17
2019	Rodriguez-Valencia, Alvaro, Rosas-Satizabal, Daniel, Paris, David		10.1177/0361198118825125	1	3	1	1	6	1	1	1	1	16
2018	Deb, Saikat, Ahmed, Mokaddes Ali		10.1016/j.tbs.2018.02.008	1	4	2	3	5	1	1	1	6	24
2018	de Ona, Rocio, de Abreu e Silva, Joao, Munoz-Monge, Christian, de Ona, Juan		10.1080/15568318.2017.1328546	2	2	1	1	3	1	0	0	3	13
2018	Currie, Graham, Truong, Long, De Gruyter, Chris		10.1016/j.retrec.2018.02.001	1	1	0	0	1	4	0	1	7	15
2018	Guner, Samet		10.1016/j.cstp.2018.05.005	4	1	0	0	2	0	1	0	1	9
2018	Sam, Enoch F., Hamidu, Osmanu, Daniels, Stijn		10.1016/j.cstp.2017.12.004	1	2	1	2	5	1	0	0	2	14
2018	Eboli L., Forciniti C., Mazzulla G.		10.1007/s12469-017-0168-9	1	2	2	4	9	1	2	1	6	28
2018	Chica-Olmo, Jorge, Gachs-Sanchez, Gachs-SanchezHector, Lizarraga, Carmen		10.1016/j.tranpol.2017.03.024	2	2	1	2	4	1	0	0	1	13
2018	van Lierop, Dea, Badami, Madhav G., El-Geneidy, Ahmed M.		10.1080/01441647.2017.1298683	0	2	0	1	1	1	0	0	2	7
2018	DÁ-ez-Mesa F., de Ona R., de Ona J.		10.1016/j.tra.2018.08.012	2	4	2	6	8	0	0	4	7	33
2018	Efthymiou D., Antoniou C., Tyrinopoulos Y., Skaltsogianni E.		10.1016/j.tra.2017.10.002	5	1	1	4	6	1	1	0	4	23
2018	Allen J., MuA±oz J.C., OrA±zar J.D.D.		10.1016/j.tra.2018.05.009	4	2	3	2	5	0	1	0	2	19
2018	Garcia-Suarez, Carlos, Rivera-Perez, Andres L., Rodriguez-Valencia, Alvaro		10.1177/0361198118787363	2	1	1	1	3	1	1	0	0	10
2017	Wong, R. C. P., Szeto, W. Y., Yang, Linchuan, Li, Y. C., Wong, S. C.		10.1016/j.jth.2017.10.004	1	3	0	0	3	0	1	0	2	10
2017	Munira, Sirajum, San Santoso, Djoen		10.1016/j.cstp.2017.03.011	2	1	1	0	1	2	0	2	4	13
2017	Isikli, Erkan, Aydin, Nezir, Celik, Erkan, Gumus, Alev Taskin		10.5038/2375-0901.20.1.4	1	3	2	4	8	1	0	1	6	26
2017	Grise, Emily, El-Geneidy, Ahmed		10.1016/j.jtrangeo.2016.11.016	2	3	1	2	7	0	0	0	4	19
2017	Aydn, Nezir		10.1016/j.tranpol.2017.02.001	2	2	2	2	6	1	1	1	3	20
2017	Verbich, David, Badami, Madhav G., El-Geneidy, Ahmed M.		10.1016/j.tranpol.2016.12.002	1	0	0	0	3	0	0	0	0	4
2017	Suman, Hemant K., Bolla, Nimesh B., Tiwari, Geetam		10.1016/j.tranpol.2017.03.002	0	6	3	0	1	1	0	3	4	18
2017	Luis Machado-Leon, Jose, de Ona, Rocio, Baoumi, Tahar, de Ona, Juan		10.1016/j.tranpol.2016.10.004	5	3	2	3	7	1	1	1	5	28
2017	Efthymiou, Dimitrios, Antoniou, Constantinos		10.1016/j.tranpol.2016.09.007	5	1	1	4	6	1	1	0	4	23
2017	Nesheli M.M., Ceder A.A., Brissaud R.		10.1007/s11116-016-9688-4	0	2	0	1	1	0	0	0	0	4

Ano	Autores											doi	Cat. 1	Cat. 2	Cat. 3	Cat. 4	Cat. 5	Cat. 6	Cat. 7	Cat. 8	Sem categoria	Total
2017	Hadiuzzman, Md, Das, Tanmay, Hasnat, Md Mehedi, Hossain, Sanjana, Musabbir, Sardar Rafee	10.1080/03081060.2017.1283155	3	3	1	1	6	1	0	1	0	1	4	20								
2017	Nassereddine M., Eskandari H.	10.1016/j.tra.2017.10.013	1	2	1	0	0	1	0	0	0	1	6	6								
2017	Barbosa S.B., Ferreira M.G.G., Nickel E.M., Cruz J.A., Forcellini F.A., Garcia J., Guerra J.B.S.O.D.A.	10.1016/j.tra.2016.11.019	2	3	0	1	8	1	3	2	9	29	29									
2017	Abenozo R.F., Cats O., Susilo Y.O.	10.1016/j.tra.2016.11.011	2	2	0	3	4	0	1	1	2	15	15									
2017	Morse L., Trompet M., Barron A., Graham D.J.	10.3141/2650-01	0	1	2	1	1	6	1	1	1	3	16									
2017	Cheranchery, Munavar Fairouz, Maitra, Bhargab	10.3141/2634-03	1	4	1	2	6	1	0	1	2	18	18									
2017	Diana M., Duarte A., Pirra M.	10.3141/2643-10	2	2	1	3	3	0	1	0	4	16	16									
2016	Suman, Hemant K., Bolla, Nomes B., Tiwari, Geetam	10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000316	1	2	1	0	1	1	0	1	1	8	8									
2016	De Ona, Juan, De Ona, Rocio, Diez-Mesa, Francisco, Eboli, Laura, Mazzulla, Gabriella	10.5038/2375-0901.19.2.8	3	2	1	1	3	0	1	1	6	18	18									
2016	Geetika, Ghosh, Piyali, Qjha, Mohit Kumar, Kumar, Sumit	10.5038/2375-0901.19.1.5	1	1	1	2	4	0	1	0	15	25	25									
2016	Li, Xin, Liu, Yue, Liu, Daizong, Gao, Zhigang	10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000310	2	3	1	1	1	2	0	1	10	21	21									
2016	Shaaban K., Kim I.	10.1002/atr.1383	1	2	1	0	2	1	0	0	2	9	9									
2016	Akoto, Eunice V.	10.5038/2375-0901.19.1.3	0	0	0	0	0	4	0	0	1	5	5									
2016	Wu, Jingxian, Yang, Min, Rasouli, Soora, Xu, Chengcheng	10.5038/2375-0901.19.3.3	2	2	1	2	5	1	0	1	3	17	17									
2016	Islam M.R., Hadiuzzaman M., Banik R., Hasnat M.M., Musabbir S.R., Hossain S.	10.1007/s12469-016-0124-0	4	1	1	1	6	1	1	2	1	18	18									
2016	Shen, Weiwei, Xiao, Weizhou, Wang, Xin	10.1016/j.tranpol.2015.10.006	1	3	2	5	12	1	4	0	18	46	46									
2016	Zhang, Chunqin, Juan, Zhicai, Luo, Qingyu, Xiao, Guangnian	10.1016/j.tranpol.2015.10.001	2	3	0	4	3	0	0	0	4	16	16									
2016	Verbich, David, El-Geneidy, Ahmed	10.1016/j.tranpol.2015.12.009	1	0	1	1	5	0	1	0	0	9	9									
2016	de Ona J., de Ona R., Lopez G.	10.1007/s11116-015-9615-0	3	2	1	1	4	1	0	0	3	15	15									
2016	Sun, Daniel (Jian), Chen, Shukai, Zhang, Chun, Shen, Suwan	10.1080/03081060.2016.1160582	0	7	0	0	0	0	0	1	2	10	10									
2016	Mahmoud, Moataz, Hine, Julian	10.1080/03081060.2016.1142224	5	5	3	4	3	1	0	1	6	28	28									
2016	Epstein B., Givoni M.	10.1016/j.tra.2016.10.021	1	3	1	1	5	1	0	0	2	14	14									
2016	de Ona J., de Ona R., Eboli L., Mazzulla G.	10.1016/j.tra.2015.05.018	2	3	1	1	3	1	0	0	2	13	13									
2016	Beek M.J., Rose J.M.	10.1016/j.tra.2016.02.002	2	2	0	1	8	1	1	1	2	18	18									
2016	GA Alçura, ŞŞ Kuşakei, GG Şimşek, M Gürsoy, SC Tannverdi	10.3141/2541-08	3	3	1	3	10	1	1	1	8	31	31									
2016	Papaioannou, Demetrios, Martinez, L. Miguel	10.3141/2543-11	2	4	0	1	3	1	0	0	1	12	12									
2015	Maitra, Bhargab, Dandapat, Saurabh, Chintakayala, Phanikumar	10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000205	0	2	0	1	1	1	0	0	1	6	6									
2015	De Ona, Juan, DeOna, Rocio, Eboli, Laura, Mazzulla, Gabriella	10.1080/15568318.2013.849318	1	2	3	4	5	1	1	0	10	27	27									
2015	Hanumappa, Devaraj, Ramaachandran, Parthasarathy, Sitharam, T. G., Lakshmana, S.	10.5038/2375-0901.18.2.1	2	1	1	0	0	11	0	0	5	20	20									
2015	Mouwen, Amoud	10.1016/j.tra.2015.05.005	3	1	1	2	5	1	0	2	0	15	15									
2015	Cats O., Abenozo R.F., Liu C., Susilo Y.O.	10.3141/2538-10	1	1	0	3	5	0	0	1	1	12	12									
2015	De Ona R., MacHado J.L., De Ona J.	10.3141/2538-09	4	3	2	4	8	0	1	4	7	33	33									
2015	Currie G., Delbosc A.	10.3141/2538-07	6	1	1	2	5	1	0	2	3	21	21									
2014	Roman, Concepcion, Carlos Martin, Juan, Espino, Raquel	10.1080/15568318.2012.758460	1	2	0	1	3	1	0	0	2	10	10									
2014	Stathopoulos, Amanda, Marcucci, Edoardo	10.1080/15568318.2012.758523	2	1	0	0	0	1	0	0	1	5	5									
2014	Hensher, David A.	10.1080/15568318.2012.758454	2	4	1	1	4	1	0	2	7	22	22									
2014	Cascetta, Ennio, Carteni, Armando	10.1080/15568318.2012.758532	2	1	1	1	1	0	0	0	0	6	6									
2014	Bhattacharya, Torsha, Brown, Jeffrey, Jaroszynski, Michal, Batuhan, Tuna	10.5038/2375-0901.17.2.1	3	2	1	1	0	0	0	0	1	8	8									
2014	Sezhian, M. Vetrivel, Muralidharan, C., Nambirajan, T., Deshmukh, S. G.	10.1002/atr.200	1	1	0	1	5	0	0	0	6	14	14									
2014	Nwachukwu, Ali Alphonsus	10.5038/2375-0901.17.1.5	2	2	1	0	5	1	2	1	3	17	17									

Ano	Autores												Total	
2014	Cascajo R., Monzon A.	doi												18
2014	Celik, Erkan, Aydin, Nezir, Gumus, Alev Taskin	10.1007/s12469-014-0085-0	2	3	0	2	2	2	2	0	5	18		
2014	Eboli, Laura, Mazzulla, Gabriella	10.1016/j.trapol.2014.09.005	1	3	2	2	8	1	1	1	6	25		
2014	Zhang K., Zhou K., Zhang F.	10.1080/03081060.2014.959353	1	1	0	4	3	1	1	1	4	16		
2014	Liou J.J.H., Hsu C.-C., Chen Y.-S.	10.1016/j.tra.2014.08.020	0	0	0	0	1	0	0	2	1	4		
2014	Conles E., Novales M., Orró A., Anta J.	10.1016/j.tra.2014.07.007	1	2	1	1	3	0	0	0	3	11		
2014	Efthymiou, Dimitrios, Kaziales, Michail, Antoniou, Constantinos, Tyrinopoulos, Yannis	10.3141/2418-08	1	2	0	0	1	1	0	0	1	6		
2014	Celik, Erkan, Bitisik, Ozge Nalan, Erdogan, Melike, Gumus, Alev Taskin, Baraeli, Hayri	10.3141/2415-01	4	3	0	3	3	1	1	0	2	17		
2013	Mokonyana, Mathetha, Venter, Christoffel	10.1016/j.tre.2013.06.006	2	1	1	1	2	0	0	1	0	8		
2013	Nelson, John D., Merkert, Rico	10.1016/j.retrec.2012.05.024	1	1	1	1	3	1	0	0	2	10		
2013	Lupo, Toni	10.1016/j.retrec.2012.05.022	1	0	1	0	0	3	0	1	3	9		
2013	de Ona, Juan, de Ona, Rocio, Eboli, Laura, Mazzulla, Gabriella	10.1016/j.trapol.2013.04.002	3	3	0	4	6	0	1	3	4	24		
2013	Redman, Lauren, Friman, Margaretta, Garling, Tommy, Hartig, Terry	10.1016/j.trapol.2013.07.001	2	2	1	1	3	1	0	0	2	12		
2013	Das, Shreya, Pandit, Debapratim	10.1016/j.trapol.2012.11.005	3	3	1	1	1	1	1	0	1	12		
2013	Mahmoud, Moataz, Hine, Julian	10.1080/01441647.2013.789571	1	4	1	3	7	0	2	3	3	24		
2013	Freitas A.L.P.	10.1080/03081060.2012.745316	6	5	3	4	3	1	0	1	5	28		
2012	Orth, Hermann, Weidmann, Ulrich, Dorbritz, Robert	10.1016/j.tra.2013.01.042	1	2	1	0	1	2	0	0	2	9		
2012	Iseki, Hiroyuki, Smart, Michael J.	10.3141/2274-15	2	2	0	0	2	0	0	0	4	10		
2011	Cirillo, Cinzia, Eboli, Laura, Mazzulla, Gabriella	10.3141/2274-18	1	3	2	1	2	0	1	0	5	15		
2011	Habib K.M.N., Kattan L., Islam T.	10.1080/15568318.2010.494231	2	1	0	1	3	1	1	0	5	9		
2011	Gan, Albert, Gui, Feng, Tang, Li	10.1002/atr.106	2	5	1	1	10	0	0	1	6	26		
2011	Lai, Wen-Tai, Chen, Ching-Fu	10.5038/2375-0901.14.3.5	0	0	1	0	3	2	2	0	2	10		
2011	Yoh, Allison, Iseki, Hiroyuki, Smart, Michael, Taylor, Brian D.	10.1016/j.trapol.2010.09.003	3	0	2	3	4	1	0	0	1	14		
2010	Ohnmacht, Timo, Scherer, Milena	10.3141/2216-13	2	2	2	1	2	0	1	2	4	16		
2008	Currie, Graham, Wallis, Ian	10.3141/2143-13	3	3	0	1	1	1	1	0	0	9		
2008	Eboli, Laura, Mazzulla, Gabriella	10.1016/j.jtrangeo.2008.04.007	1	1	1	1	1	0	0	1	0	6		
2008	Minocha, Inshu, Sriraj, P. S., Metaxatos, Paul, Thakuriyah, Piyushimita (Vonu)	10.1080/03081060802364471	1	1	0	1	3	1	1	0	1	9		
2006	Geerlings, H, Klemenitschitz, R, Mulley, C	10.3141/2042-03	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3		
2006	Hu, Kai-Chieh, Jen, William	10.1016/j.jelepro.2005.03.021	0	1	1	0	1	3	0	1	4	11		
2003	Jen W., Hu K.-C.	10.1080/01441640600679482	0	3	0	3	3	0	2	1	2	14		
2003	Hensher D.A., Stopher P., Bullock P.	10.1023/A:1023983627092	2	5	1	5	3	2	1	1	3	23		
2003	Perk V.A., Foreman C.	10.1016/S0965-8564(02)00075-7	2	3	0	0	5	1	1	0	0	12		
2002	Strathman, JG, Kimpel, TJ, Dueker, KJ, Gerhart, RL, Callas, S	10.3141/1841-14	3	2	0	0	1	0	0	0	0	6		
2001	Foote P.J., Stuart D.G., Elmore-Yalch R.	10.1023/A:1015633408953	0	4	1	0	1	2	0	0	4	12		
2000	Weinstein, A	10.3141/1753-12	1	1	0	1	6	1	0	1	2	13		
		10.3141/1735-15	2	2	0	3	8	1	0	1	7	24		

APÊNDICE B – BASE DE DADOS DE CADASTRO DAS ROTAS

Rota	Empresa	Corredor	Grupo_km	Denominacao	Município	Tempo de viagem - por sentido (em min)	Extensao - por sentido (em km)
Rota01	Fretcar	1	4	Fortaleza/Serrote / Salgado	Sg_Amarante	226	113
Rota02	Fretcar	4	3	Fortaleza/Pacatuba/São Luiz	Pacatuba	98	55
Rota03	Fretcar	1	4	Fortaleza/Taiba	Sg_Amarante	142	71
Rota04	Fretcar	3	4	Fortaleza/Itapebussu	Maranguape	154	77
Rota05	Fretcar	4	3	Fortaleza/Água Verde	Guaiuba	79	39
Rota06	Fretcar	1	4	Fortaleza/São Gonçalo do Amarante	Sg_Amarante	151	75
Rota07	Fretcar	3	4	Fortaleza/Itacima	Guaiuba	143	71
Rota08	MS Turismo	x	1	Barra do Ceará/Ceasa	Maracanau	50	20
Rota09	Penha	3	3	Fortaleza/Jubaia	Maranguape	103	51
Rota10	Penha	3	2	Fortaleza/Maranguape	Maranguape	54	27
Rota11	Penha	3	1	Maranguape/Mucunã	Maranguape	23	12
Rota12	Penha	3	1	Maracanau/Maranguape	Maranguape	25	13
Rota13	Penha	3	4	Fortaleza/Itapebussu	Maranguape	140	70
Rota14	Sao Benedito	6	4	Fortaleza/Barra da Caponga/Águas Belas	Cascavel	144	72
Rota15	Sao Benedito	5	4	Fortaleza/Guanacés	Cascavel	168	84
Rota16	Sao Benedito	6	4	Fortaleza/Jacarecoara/Barra Nova	Cascavel	149	75
Rota17	Sao Benedito	6	4	Fortaleza/Cascavel	Cascavel	138	69
Rota18	Sao Benedito	6	3	Fortaleza/Iguape/Barro Preto	Aquiraz	103	51
Rota19	Sao Benedito	6	3	Fortaleza/Prairinha/Porto das Dunas	Aquiraz	74	37
Rota20	Sao Benedito	5	3	Fortaleza/Pacajus	Pacajus	116	58
Rota21	Sao Benedito	5	4	Fortaleza/Chorozinho	Chorozinho	142	71
Rota22	Sao Benedito	5	3	Fortaleza/Caracanga	Itaitinga	69	35
Rota23	Sao Benedito	6	2	Fortaleza/Tapuio	Aquiraz	56	28
Rota24	Sao Benedito	6	3	Fortaleza/Tipuiú/Mangabeira	Eusebio	113	56
Rota25	Sao Benedito	6	4	Fortaleza/Arueira	Aquiraz	123	61
Rota26	Sao Benedito	5	3	Fortaleza/São Bento	Itaitinga	96	48
Rota27	Sao Benedito	5	4	Fortaleza/Telha	Aquiraz	136	68
Rota28	Sao Paulo	3	4	Fortaleza/Itapebussu	Maranguape	140	70
Rota29	Sao Paulo	3	2	Fortaleza/Maranguape	Maranguape	54	27
Rota30	Sao Paulo	3	1	Maranguape/Parque Luzardo Viana	Maracanau	22	11

Rota	Empresa	Corredor	Grupo_km	Denominacao	Município	Tempo de viagem - por sentido (em min)	Extensao - por sentido (em km)
Rota31	Viametro	3	2	Fortaleza/Taquara	Maracanau	49	25
Rota32	Viametro	4	2	Fortaleza/Pavuna	Pacatuba	51	26
Rota33	Viametro	4	1	Fortaleza/Conj. Industrial	Maracanau	28	14
Rota34	Viametro	4	2	Fortaleza/Conj. Pajuçara	Maracanau	52	26
Rota35	Viametro	4	2	Fortaleza/Conj. Acaracuzinho	Maracanau	45	23
Rota36	Viametro	4	2	Fortaleza/Conj. Timbó	Maracanau	46	23
Rota37	Viametro	3	3	Ceasa/Maranguape	Maranguape	65	33
Rota38	Viametro	4	2	Fortaleza/Conj. Novo Maracanau	Maracanau	51	26
Rota39	Viametro	3	2	Fortaleza/Conj. Carlos Jerreissati - rota 01	Maracanau	56	28
Rota40	Viametro	3	2	Fortaleza/Conj. Carlos Jerreissati - rota 02	Maracanau	60	30
Rota41	Viametro	4	3	Fortaleza/Pituary	Maracanau	65	33
Rota42	Viametro	4	2	Fortaleza/Olho d'água	Maracanau	61	30
Rota43	Viametro	4	1	Fortaleza/Cidade Nova	Maracanau	50	19
Rota44	Vitoria	1	3	Fortaleza/Cumbuco - rota 01	Caucaia	66	33
Rota45	Vitoria	2	1	Fortaleza/Conj Nova Metrópole - rota 02	Caucaia	36	18
Rota46	Vitoria	2	1	Fortaleza/Conj Nova Metrópole - rota 03	Caucaia	34	17
Rota47	Vitoria	1	3	Fortaleza/Sítios Novos	Caucaia	109	54
Rota48	Vitoria	1	3	Fortaleza/Coite / Matões	Caucaia	102	51
Rota49	Vitoria	2	1	Fortaleza/Jurema	Caucaia	31	16
Rota50	Vitoria	2	1	Fortaleza/Tabapuá	Caucaia	27	14
Rota51	Vitoria	2	3	Fortaleza/Bom Princípio	Caucaia	114	57
Rota52	Vitoria	1	2	Fortaleza/Cumbuco via Icarai - jardineira	Caucaia	59	30
Rota53	Vitoria	2	1	Fortaleza/Parque Albano	Caucaia	27	13
Rota54	Vitoria	2	1	Fortaleza/Caucaia	Caucaia	34	17
Rota55	Vitoria	2	1	Fortaleza/Conj Nova Metrópole - rota 01	Caucaia	36	18
Rota56	Vitoria	2	1	Fortaleza/Conj Araturí - rota 01	Caucaia	33	17
Rota57	Vitoria	2	1	Fortaleza/Planalto Caucaia - rota 01	Caucaia	35	17
Rota58	Vitoria	2	1	Fortaleza/Parque Potira	Caucaia	34	17
Rota59	Vitoria	2	2	Fortaleza/Caucaia - rota 02	Caucaia	42	21
Rota60	Vitoria	2	1	Fortaleza/Planalto Caucaia - rota 02	Caucaia	39	20

Rota	Empresa	Corredor	Grupo_km	Denominacao	Município	Tempo de viagem - por sentido (em min)	Extensao - por sentido (em km)
Rota61	Vitoria	2	2	Fortaleza/Capuan (Genipabu)	Caucaia	52	26
Rota62	Vitoria	2	1	Fortaleza/Planalto Potira - rota 02	Caucaia	34	17
Rota63	Vitoria	2	1	Fortaleza/Conj. Araturi - rota 03	Caucaia	33	17
Rota64	Vitoria	1	2	Fortaleza/Cumbuco	Caucaia	49	25
Rota65	Fretcar	1	4	Fortaleza/Paracuru (via Umarizeiras)	Paracuru	175	88
Rota66	Sao Benedito	5	2	Fortaleza/Ancuri	Horizonte	63	32
Rota67	Vitoria	1	3	Caucaia/Porto do Pecém	Caucaia	93	46
Rota68	Fretcar	x	1	Pacatuba/Maracanau (shopping)	Maracanau	42	21
Rota70	Fretcar	1	4	Fortaleza/Paracuru (via Jardim)	Paracuru	175	88
Rota74	Viametro	4	2	Maracanau/Pacatuba	Maracanau	43	22
Rota75	Fretcar	4	4	Fortaleza/Água Verde/Redenção - rota 01	Guaiuba	131	65
Rota76	Fretcar	4	3	Fortaleza/Guaiuba - rota 02	Guaiuba	80	40
Rota77	Sao Benedito	6	3	Fortaleza/Aquiraz	Aquiraz	66	33
Rota78	Viametro	3	3	Fortaleza/Pituary	Maracanau	65	33
Rota79	Viametro	3	2	Fortaleza/Olho d'água	Maracanau	61	30
Rota80	Viametro	3	2	Fortaleza/Maracanau	Maracanau	75	27
Rota81	Vitoria	1	2	Fortaleza / Cumbuco - rota 02 (Icarai/ Barra)	Caucaia	42	21
Rota82	Vitoria	2	1	Fortaleza / Parque Soledade / Planalto Caucaia	Caucaia	31	16
Rota83	Vitoria	2	1	Fortaleza / Conj Nova Metrópole - rota 04	Caucaia	37	18
Rota84	Vitoria	2	2	Fortaleza / Conj Nova Metrópole - rota 05	Caucaia	45	22
Rota85	Fretcar	x	3	Caucaia/Porto do Pecém	Caucaia	91	46
Rota86	Penha	3	4	Fortaleza/Itapebussu	Maranguape	140	70
Rota87	Penha	3	3	Fortaleza/Ladeira Grande/Tanques - rota 01	Maranguape	118	59
Rota88	Vitoria	2	1	Fortaleza/Conj. Araturi - rota 02	Caucaia	40	17
Rota89	Penha	4	4	Fortaleza/Guaiuba/Itacima - rota 02	Maranguape	143	71
Rota91	Penha	3	3	Fortaleza/Ladeira Grande/Tanques - rota 02	Maranguape	118	59
Rota92	Sao Benedito	5	3	Fortaleza/Horizonte	Horizonte	60	40
Rota93	Penha	4	4	Fortaleza/Guaiuba/Itacima - rota 01	Maranguape	120	60

APÊNDICE C – VARIÁVEIS DO SISTEMA METROPOLITANO 2016 - 2022

Ano 2016

DMU	Frequência	FrotaUtilizada	TempoTotal	Soma_Idade	QuilometragemporAno	ReceitaAjustada	PassageirosporAno	Populacao
Rota01	771	39	2.122	7.040	93.291	398.672	33.991	238.611
Rota02	1.018	41	1.601	9.068	55.481	198.983	34.218	252.678
Rota03	9.951	55	19.730	44.320	716.472	3.696.330	415.331	225.737
Rota04	4.952	53	9.994	27.270	326.832	1.455.684	147.907	335.780
Rota05	41.253	55	53.297	227.787	2.763.951	10.190.596	1.600.866	272.163
Rota06	649	37	1.295	3.413	52.569	163.249	18.820	232.467
Rota07	7.170	55	9.801	53.328	437.370	1.223.296	185.213	266.106
Rota08	9.856	5	8.626	123.044	177.408	1.098.318	184.342	353.701
Rota09	1.231	20	2.824	8.462	64.997	552.272	105.897	323.295
Rota10	19.974	25	26.399	98.594	547.288	5.257.168	872.403	295.276
Rota11	743	28	556	9.535	7.690	44.309	23.006	54.631
Rota12	1.526	18	1.547	27.845	20.067	185.132	65.922	146.739
Rota13	2.051	14	4.584	8.919	135.366	705.110	74.586	335.780
Rota14	2.880	84	6.821	18.816	189.936	662.080	65.975	227.529
Rota15	488	11	1.017	4.236	35.502	148.181	16.407	268.691
Rota16	493	56	1.125	3.676	37.542	173.955	15.502	9.615
Rota17	12.919	83	24.196	94.492	835.859	2.546.448	239.429	263.438
Rota18	11.227	67	17.261	81.939	561.350	7.543.227	754.986	223.441
Rota19	5.709	68	8.426	35.788	264.327	2.713.187	419.936	216.468
Rota20	8.278	86	14.348	51.760	478.882	4.857.721	424.806	276.621
Rota21	3.477	70	6.914	22.902	261.470	1.550.501	127.390	287.222
Rota22	518	25	780	3.962	23.828	205.321	26.811	196.605
Rota23	4.689	57	6.492	29.118	168.804	2.060.819	338.088	201.496
Rota24	1.351	39	1.880	7.372	55.391	426.105	59.716	207.667
Rota25	1.473	53	3.312	11.985	91.547	1.984.598	138.611	211.343
Rota26	9.006	74	15.200	64.171	447.598	4.596.385	486.366	229.320
Rota27	1.394	52	1.509	8.538	60.639	453.652	66.785	199.630
Rota28	2.535	13	5.595	13.860	167.310	697.451	76.143	335.780
Rota29	24.509	22	31.892	78.796	710.761	6.398.819	1.017.341	300.517
Rota30	9.035	14	4.296	69.661	76.798	424.031	246.740	52.432
Rota31	3.139	88	3.722	6.228	78.145	519.134	110.405	250.481
Rota32	12.620	36	14.397	15.525	361.437	885.360	172.281	236.059

Ano 2016

DMU	Frequência	FrotaUtilizada	TempoTotal	Soma_Idade	QuilometragemporAno	ReceitaAjustada	PassageirosporAno	Populacao
Rota33	16.514	76	14.104	59.390	280.738	1.631.400	390.775	196.340
Rota34	16.713	76	21.104	60.343	481.502	3.178.389	564.770	249.488
Rota35	19.938	94	21.972	59.628	514.201	3.711.742	653.603	218.365
Rota36	19.788	78	21.154	59.184	508.255	3.839.512	684.840	209.464
Rota37	22.241	75	31.616	140.625	849.717	6.026.237	2.122.737	206.494
Rota38	25.408	94	31.945	89.907	729.972	5.903.294	1.046.084	266.016
Rota39	26.125	75	32.254	81.055	755.274	6.318.236	1.115.991	344.802
Rota40	26.100	100	33.748	94.123	818.496	6.493.420	1.143.920	346.683
Rota41	3.272	76	4.359	14.104	111.248	548.483	96.000	309.747
Rota42	5.895	58	7.374	34.739	200.430	813.454	143.664	309.704
Rota43	392	14	430	4.300	7.448	37.486	9.007	308.392
Rota44	16.339	60	21.093	32.856	526.116	3.470.377	672.758	203.210
Rota45	35.705	164	30.558	87.049	624.838	6.429.091	1.437.292	196.956
Rota46	22.025	150	17.952	47.158	381.032	3.403.262	747.957	187.636
Rota47	1.290	47	2.451	2.390	72.240	445.922	75.899	215.339
Rota48	1.819	94	3.553	4.307	98.226	482.705	86.357	215.342
Rota49	24.124	108	20.048	54.449	398.046	3.568.688	780.724	222.397
Rota50	5.342	41	3.923	14.248	64.104	551.755	123.266	140.590
Rota51	1.132	47	2.297	2.830	56.600	245.890	44.695	226.612
Rota52	1.900	10	2.816	3.807	62.225	355.594	33.734	261.496
Rota53	14.079	126	11.311	31.834	198.514	1.843.436	417.260	189.676
Rota54	25.444	95	21.582	43.479	438.909	4.104.153	917.554	177.343
Rota55	31.745	134	26.235	64.478	555.538	4.846.408	1.078.957	199.194
Rota56	40.920	166	35.539	81.811	695.640	7.454.841	1.655.202	236.759
Rota57	44.001	161	36.995	100.409	752.417	7.434.614	1.659.900	169.149
Rota58	23.934	143	19.503	52.903	409.271	3.100.643	688.230	178.018
Rota59	26.753	161	27.435	63.099	575.190	4.383.620	978.512	182.073
Rota60	12.919	93	11.481	42.560	255.150	1.538.981	339.887	203.685
Rota61	9.329	154	10.562	24.630	237.890	2.009.931	381.211	203.889
Rota62	17.111	142	14.637	50.253	292.598	2.471.267	548.507	180.489
Rota63	29.145	158	27.172	65.674	495.465	6.240.246	1.382.114	267.828
Rota64	18.337	158	16.765	45.128	590.451	3.406.532	672.260	206.500

Ano 2017

DMU	Frequência	Frota Utilizada	Tempo Total	Soma_Idade	Quilometragem por Ano	Receita Ajustada	Passageiros por Ano	População
Rota01	882	25	2.523	8.647	106.722	527.148	43.642	240.855
Rota02	1.314	31	2.601	10.849	71.613	271.353	48.412	254.805
Rota03	11.372	49	21.594	59.727	818.784	3.491.728	431.291	227.860
Rota04	5.111	44	10.210	32.965	337.326	1.345.173	143.858	338.663
Rota05	38.574	49	53.047	236.107	2.584.458	9.956.361	1.652.029	274.496
Rota07	4.855	47	7.362	38.015	296.155	937.823	155.225	268.388
Rota08	9.417	4	8.316	60.364	169.506	953.469	161.867	356.286
Rota09	1.261	19	2.982	7.263	66.581	553.759	106.936	326.013
Rota10	22.938	27	29.173	113.365	628.501	5.364.360	929.223	297.626
Rota11	813	29	618	8.932	8.415	53.327	27.089	55.241
Rota12	2.344	23	2.219	21.251	30.824	270.475	96.509	148.221
Rota13	2.515	15	4.986	12.594	165.990	733.630	81.361	338.663
Rota14	2.817	105	6.160	19.947	185.781	603.772	58.098	229.403
Rota15	392	42	801	3.641	28.518	91.724	9.416	271.453
Rota16	470	69	1.105	3.064	35.791	176.757	15.050	9.706
Rota17	12.134	105	22.028	80.145	785.070	2.433.717	216.250	265.596
Rota18	10.454	59	15.553	81.609	522.700	6.192.735	643.861	225.279
Rota19	6.357	72	8.821	46.141	294.329	2.653.307	422.296	218.234
Rota20	7.710	93	12.538	53.336	446.023	3.665.845	322.200	279.562
Rota21	2.849	88	5.480	19.208	214.245	1.137.120	91.469	290.198
Rota22	516	48	775	4.170	23.736	159.024	21.392	198.132
Rota23	3.853	50	5.323	28.589	138.708	1.495.918	251.054	203.127
Rota24	1.587	50	1.770	10.280	65.067	413.919	59.068	209.404
Rota25	1.440	47	2.881	13.425	89.496	1.737.729	125.738	213.089

Ano 2017

DMU	Frequência	Frota Utilizada	Tempo Total	Soma_Idade	Quilometragem por Ano	Receita Ajustada	Passageiros por Ano	População
Rota26	7.830	62	12.585	55.816	389.151	3.093.227	326.969	231.245
Rota27	1.596	64	2.388	10.743	69.426	767.773	114.935	201.184
Rota28	2.396	13	4.570	12.437	158.136	556.172	66.920	338.663
Rota29	26.319	23	33.038	94.370	763.251	6.122.865	1.021.171	302.900
Rota30	10.750	14	5.058	81.559	91.375	522.797	296.994	53.023
Rota31	3.563	77	4.196	9.412	88.701	542.277	118.969	252.318
Rota32	13.434	71	15.613	31.832	384.750	1.007.611	198.829	237.966
Rota33	14.917	89	14.052	32.897	253.589	1.488.150	389.093	197.763
Rota34	17.541	75	22.762	64.189	505.356	3.110.911	604.086	251.362
Rota35	19.600	87	20.841	62.566	505.484	3.350.800	608.221	219.957
Rota36	18.411	80	19.953	49.223	472.887	3.312.679	613.098	210.989
Rota37	21.828	69	30.665	143.866	833.939	5.650.892	2.033.771	208.583
Rota38	24.853	90	31.318	100.523	714.027	5.247.773	950.999	267.976
Rota39	25.600	78	31.949	82.754	740.096	5.481.115	988.244	347.590
Rota40	25.828	87	33.379	96.676	809.966	5.810.565	1.047.351	349.535
Rota41	2.868	27	3.899	14.699	97.512	387.009	69.658	312.156
Rota42	5.905	92	7.314	31.675	200.770	753.439	139.639	312.113
Rota44	17.645	125	22.891	50.614	568.169	3.669.459	725.707	205.079
Rota45	36.033	165	30.622	96.417	630.578	6.195.200	1.419.836	198.747
Rota46	21.930	137	17.898	71.166	379.389	3.150.620	709.985	189.301
Rota47	1.280	53	2.363	3.128	71.680	422.904	72.537	217.356
Rota48	1.962	102	4.074	6.506	105.948	524.196	94.271	217.353
Rota49	23.268	106	19.856	71.173	383.922	3.112.703	692.900	224.436
Rota50	5.157	68	3.715	17.423	61.884	519.572	119.717	141.700

Ano 2017

DMU	Frequência	Frota Utilizada	Tempo Total	Soma_Idade	Quilometragem por Ano	Receita Ajustada	Passageiros por Ano	População
Rota51	1.144	57	2.692	3.950	57.200	269.828	49.155	228.761
Rota52	1.602	21	1.903	4.751	52.466	242.585	22.933	263.581
Rota53	13.976	134	11.427	41.203	197.062	1.715.452	398.969	191.308
Rota54	24.608	94	20.882	68.574	424.488	3.664.560	840.071	178.920
Rota55	31.877	122	26.128	92.995	557.848	4.409.647	1.004.090	201.012
Rota56	41.138	167	36.245	98.623	699.346	7.103.208	1.607.401	238.983
Rota57	42.305	161	35.853	98.650	723.415	6.805.048	1.557.781	170.625
Rota58	23.996	131	19.693	72.496	410.332	3.178.446	720.022	179.597
Rota59	25.448	157	26.090	71.099	547.132	3.728.757	853.539	183.707
Rota60	12.942	95	11.604	41.623	255.605	1.432.024	328.619	205.575
Rota61	9.566	150	11.105	30.954	243.933	1.958.589	383.170	205.769
Rota62	16.334	125	13.810	51.035	279.311	2.224.361	509.892	182.097
Rota63	32.977	149	30.845	105.558	560.609	6.263.623	1.409.173	270.434
Rota64	17.744	145	16.277	51.770	571.357	3.066.303	616.551	208.408
Rota65	884	33	2.452	6.739	78.234	334.208	36.926	238.671
Rota66	559	39	719	4.543	14.534	152.929	32.438	193.070
Rota67	1.964	62	2.639	4.940	90.344	106.284	17.327	55.555

Ano 2018

DMU	Frequência	Frota Utilizada	Tempo Total	Soma Idade	Quilometragem por Ano	Receita Ajustada	Passageiros por Ano	População
Rota01	993	33	2.753	8.453	120.153	548.199	46.553	242.994
Rota02	747	35	1.203	5.166	40.712	196.193	33.262	256.832
Rota03	12.530	44	24.429	70.115	902.160	3.889.783	520.389	229.877
Rota04	5.303	40	10.164	32.047	349.998	1.370.761	166.297	341.421
Rota05	25.301	44	44.054	169.666	1.695.167	8.272.206	1.420.856	276.717
Rota08	10.958	5	9.588	123.894	197.244	1.040.971	183.230	358.750
Rota09	1.203	18	2.991	7.394	63.518	505.277	99.513	328.612
Rota10	21.239	20	29.176	123.230	581.949	5.305.995	976.573	299.882
Rota11	816	25	652	10.218	8.446	49.722	26.036	55.825
Rota12	2.727	24	2.815	19.458	35.860	359.228	131.932	149.638
Rota13	2.185	14	4.325	12.155	144.210	627.330	79.184	341.421
Rota14	2.764	83	5.932	21.803	182.286	664.523	65.786	231.194
Rota15	398	71	759	3.258	28.955	93.781	9.718	274.096
Rota16	452	62	1.018	3.525	34.420	160.990	14.145	9.791
Rota17	11.471	95	20.466	87.547	742.174	2.509.765	232.210	267.669
Rota18	10.506	81	15.913	81.359	525.300	5.646.317	597.774	227.043
Rota19	6.089	78	8.171	45.512	281.921	2.360.481	379.465	219.928
Rota20	6.561	103	10.610	52.927	379.554	2.117.366	191.118	282.378
Rota21	2.386	76	4.406	18.048	179.427	788.016	63.043	293.048
Rota22	546	31	856	4.855	25.116	165.541	22.987	199.594
Rota23	3.819	41	5.300	30.228	137.484	1.374.763	229.573	204.695
Rota24	934	39	1.193	6.764	38.294	280.088	40.661	211.073
Rota25	1.414	36	2.837	10.123	87.880	1.538.827	110.720	214.759

Ano 2018

DMU	Frequência	Frota Utilizada	Tempo Total	Soma_Idade	Quilometragem por Ano	Receita Ajustada	Passageiros por Ano	População
Rota26	6.631	70	10.487	51.496	329.561	2.536.310	273.896	233.097
Rota27	2.553	49	3.498	20.356	111.056	1.001.397	155.741	202.671
Rota28	2.585	14	5.054	13.223	170.610	601.829	79.093	341.421
Rota29	26.889	23	32.438	179.009	779.781	6.066.661	1.094.372	305.185
Rota30	10.929	11	5.141	90.140	92.897	492.026	273.767	53.589
Rota31	3.703	71	4.335	13.024	92.186	532.548	122.875	254.084
Rota32	12.469	75	14.645	41.794	357.112	1.069.767	215.810	239.785
Rota33	13.810	69	13.295	23.199	234.770	1.349.161	372.498	199.115
Rota34	18.086	57	23.670	58.806	521.058	3.099.236	642.857	253.145
Rota35	17.666	96	19.491	73.224	455.606	2.753.792	588.294	221.475
Rota36	18.077	75	21.070	65.375	464.308	3.272.115	688.624	212.441
Rota37	19.778	67	28.905	104.698	755.618	5.017.964	1.885.679	210.579
Rota38	20.878	88	26.732	83.828	599.825	4.118.828	857.285	269.841
Rota39	44.838	78	58.765	184.468	1.296.267	9.406.703	1.947.728	350.263
Rota40	46.184	81	62.642	187.408	1.448.330	10.384.787	2.073.660	352.272
Rota41	2.557	44	3.477	11.658	86.938	341.420	68.662	314.470
Rota42	4.848	65	6.651	29.838	164.832	650.579	130.798	314.426
Rota44	19.260	129	25.772	69.916	620.172	4.014.719	852.578	206.859
Rota45	35.981	161	32.893	78.175	629.668	6.277.327	1.560.278	200.454
Rota46	20.435	131	17.385	76.770	353.525	2.940.840	717.348	190.889
Rota47	1.254	51	2.399	4.371	70.224	424.188	83.823	219.276
Rota48	1.927	82	4.044	8.260	104.058	520.957	105.544	219.264
Rota49	21.420	115	19.452	78.325	353.430	3.053.350	749.886	226.388
Rota50	5.217	58	3.807	21.575	62.604	490.114	125.232	142.755

Ano 2018

DMU	Frequência	Frota Utilizada	Tempo Total	Soma_Idade	Quilometragem por Ano	Receita Ajustada	Passageiros por Ano	População
Rota51	1.211	57	2.678	5.198	60.550	269.380	59.223	230.811
Rota52	1.585	24	2.044	6.032	51.909	244.551	26.027	265.554
Rota53	13.977	126	11.881	52.420	197.076	1.750.033	439.260	192.868
Rota54	23.277	113	20.873	83.681	401.528	3.411.946	911.013	180.417
Rota55	26.103	131	22.088	91.782	456.803	3.521.563	878.536	202.745
Rota56	37.442	161	35.202	81.204	636.514	6.196.492	1.560.875	241.113
Rota57	36.705	160	32.902	81.080	627.655	5.952.333	1.527.204	172.028
Rota58	32.902	160	32.149	116.667	562.624	5.340.374	1.317.081	181.109
Rota59	22.735	156	24.096	82.897	488.803	3.350.834	835.794	185.258
Rota60	13.489	107	12.634	50.370	266.408	1.514.600	376.180	207.381
Rota61	9.542	150	11.389	36.254	243.321	1.927.540	407.102	207.554
Rota66	635	42	743	4.729	16.510	168.815	36.082	194.465
Rota67	1.335	62	1.547	5.292	61.410	51.420	8.069	56.187
Rota68	6.851	21	5.714	47.857	143.871	800.955	215.234	120.715
Rota69	1.398	31	2.510	9.227	76.890	359.285	67.837	323.256
Rota70	1.095	35	2.952	8.203	96.908	455.762	47.455	240.172
Rota71	1.924	15	1.929	9.865	88.504	118.478	15.194	60.661
Rota72	748	22	1.336	5.045	45.628	149.979	27.972	270.565
Rota73	542	29	1.207	3.518	33.604	210.155	35.730	325.415
Rota74	6.567	35	5.530	35.526	137.907	765.003	210.013	120.715

Ano 2019

DMU	Frequência	FrotaUtilizada	TempoTotal	Soma_Idade	QuilometragemporAno	ReceitaAjustada	PassageirosporAno	Populacao
Rota01	873	32	2.435	6.731	105.633	452.038	43.086	75.329
Rota02	357	38	574	2.600	19.457	114.571	18.866	73.987
Rota03	9.060	39	17.718	61.022	652.320	3.057.878	433.718	81.650
Rota08	9.231	4	8.919	45.054	166.158	939.518	176.162	84.936
Rota09	1.269	21	3.183	8.993	67.003	536.301	107.151	97.461
Rota10	20.221	23	26.167	109.548	554.055	4.803.108	878.807	80.207
Rota11	792	29	592	9.019	8.197	42.001	21.533	23.251
Rota12	3.986	25	4.372	29.807	52.416	527.401	193.343	55.426
Rota13	2.708	17	5.427	17.905	178.728	849.590	104.310	125.385
Rota14	2.611	81	5.315	20.320	172.195	699.860	71.524	78.834
Rota15	368	59	814	2.635	26.772	87.643	11.094	91.026
Rota16	443	57	1.007	3.459	33.734	157.475	14.581	634
Rota17	9.909	80	17.696	78.094	641.112	2.297.998	225.153	94.074
Rota18	9.309	73	14.357	57.381	465.450	4.798.349	528.877	68.328
Rota19	6.487	69	8.564	41.099	300.348	2.214.101	365.927	62.934
Rota20	6.537	87	10.258	55.123	378.165	2.530.772	233.713	96.075
Rota21	2.578	76	5.042	21.350	193.866	965.936	82.260	103.660
Rota22	467	23	640	4.625	21.482	94.995	14.380	62.809
Rota23	2.480	51	2.756	20.455	89.280	628.138	108.465	56.431
Rota24	1.174	43	1.537	8.358	48.134	340.045	51.675	60.416
Rota25	1.213	46	2.190	8.926	75.388	1.106.856	87.346	70.631
Rota26	5.130	62	7.781	40.364	254.961	1.816.735	202.675	87.231
Rota27	2.987	58	3.805	22.835	129.935	1.039.278	161.877	67.433
Rota28	3.486	16	7.016	20.646	230.076	930.805	125.867	125.385
Rota29	25.193	23	31.005	110.010	730.597	5.650.209	1.047.529	83.074
Rota30	10.264	14	4.522	87.558	87.244	399.342	225.174	20.234

Ano 2019

DMU	Frequência	FrotaUtilizada	TempoTotal	Soma_Idade	QuilometragemporAno	ReceitaAjustada	PassageirosporAno	Populacao
Rota31	3.913	42	4.363	17.008	97.414	476.561	117.513	71.145
Rota32	6.625	65	8.085	38.862	189.740	1.053.793	210.571	63.883
Rota33	13.376	50	12.845	32.535	227.392	1.178.508	332.538	56.726
Rota34	18.098	60	24.062	70.002	521.403	2.964.714	618.643	86.034
Rota35	17.159	68	19.144	73.939	442.531	2.555.877	546.070	63.097
Rota36	18.199	64	21.035	70.463	467.441	3.085.127	650.121	54.064
Rota37	20.038	51	29.528	98.359	765.552	4.869.718	1.943.347	73.073
Rota38	19.698	67	25.613	79.672	565.924	3.816.720	807.383	73.372
Rota39	21.742	64	28.044	81.019	628.561	4.424.324	953.263	97.979
Rota40	22.514	61	29.994	89.559	706.039	4.857.401	1.042.495	105.279
Rota44	19.594	152	26.924	70.900	630.927	4.238.133	905.613	53.231
Rota45	36.024	168	34.296	102.293	630.420	5.839.074	1.488.711	55.258
Rota46	19.461	137	17.279	89.932	336.675	2.679.256	660.229	50.713
Rota47	1.282	44	2.389	5.411	71.792	403.813	81.223	60.246
Rota48	1.944	96	4.097	9.321	104.976	520.580	104.242	70.217
Rota49	24.487	145	22.800	79.731	404.036	3.372.224	855.761	57.948
Rota50	5.357	82	4.038	22.696	64.284	485.550	125.296	33.327
Rota51	1.214	73	2.674	5.580	60.700	260.287	60.108	54.331
Rota52	1.769	57	2.220	4.108	57.935	269.555	29.732	38.112
Rota53	13.819	142	11.654	59.661	194.848	1.636.380	412.946	44.522
Rota54	22.464	143	20.883	60.876	387.504	3.308.825	895.601	41.328
Rota55	23.443	164	20.570	57.650	410.253	3.181.283	809.993	53.583

Ano 2019

DMU	Frequência	FrotaUtilizada	TempoTotal	Soma_Idade	QuilometragemporAno	ReceitaAjustada	PassageirosporAno	Populacao
Rota56	33.162	171	31.841	96.709	563.754	5.435.086	1.408.810	63.735
Rota57	30.866	166	28.681	97.506	527.809	5.283.852	1.390.932	44.396
Rota58	31.849	166	31.493	105.967	544.618	4.989.979	1.253.008	40.768
Rota59	21.552	166	23.583	91.401	463.368	3.090.147	781.020	56.486
Rota60	12.934	123	12.378	56.370	255.447	1.389.538	345.398	53.928
Rota61	9.615	164	12.118	41.275	245.183	1.993.392	426.470	56.202
Rota66	456	23	698	3.699	11.856	128.778	29.052	57.446
Rota67	1.183	63	1.750	5.539	54.418	40.202	6.190	25.889
Rota68	5.527	36	4.803	43.489	116.067	706.908	195.866	47.681
Rota70	952	31	2.364	7.635	84.252	319.054	42.593	81.392
Rota74	5.152	34	4.659	29.335	108.192	621.567	181.607	47.681
Rota75	18.480	39	36.253	134.533	1.238.160	7.146.777	1.237.698	83.635
Rota76	6.440	38	8.545	50.318	257.600	1.172.737	238.760	79.838
Rota77	1.829	47	2.041	11.121	55.967	484.432	73.408	61.940
Rota78	2.635	6	3.725	10.711	89.722	340.894	70.274	86.934
Rota79	5.156	12	6.929	34.876	154.835	620.285	126.670	86.934
Rota80	968	56	1.584	4.468	25.846	329.566	58.298	84.119
Rota81	17.350	154	17.283	62.345	364.350	2.696.422	621.647	47.102
Rota82	7.460	94	5.708	32.458	117.122	742.774	184.462	44.396
Rota83	30.354	167	31.042	132.437	576.726	5.796.781	1.477.587	74.771
Rota84	1.557	81	1.788	7.619	35.811	226.180	54.409	62.778

Ano 2020

DMU	Frequência	Frota Utilizada	Tempo Total	Soma_Idade	Quilometragem por Ano	Receita Ajustada	Passageiros por Ano	População
Rota03	6.637	29	13.245	52.062	477.864	1.795.307	223.549	231.700
Rota08	4.028	2	4.019	12.084	72.504	346.715	72.474	364.416
Rota09	428	19	1.098	2.572	22.598	183.487	37.469	334.111
Rota10	12.582	20	15.507	64.682	344.747	2.355.713	473.253	304.810
Rota11	410	25	306	3.913	4.243	12.473	7.198	56.848
Rota12	1.541	21	1.591	11.621	20.264	141.167	56.579	151.885
Rota14	2.024	68	3.971	17.594	133.483	544.932	55.985	234.610
Rota16	304	34	782	2.697	23.150	116.117	11.367	9.935
Rota17	9.905	75	16.973	87.341	640.853	2.052.582	212.471	271.459
Rota18	3.639	57	5.612	24.271	181.950	1.378.938	176.916	230.690
Rota19	2.435	53	3.388	16.732	112.741	726.844	131.899	223.477
Rota20	3.213	70	5.537	28.463	185.872	1.032.758	108.246	286.726
Rota21	2.162	64	4.965	19.709	162.582	712.251	67.606	297.930
Rota23	2.611	41	3.489	19.165	93.996	447.752	88.272	208.029
Rota24	515	35	815	3.291	21.115	150.072	26.216	214.524
Rota25	852	36	1.447	6.240	52.952	377.974	43.949	218.213

Ano 2020

DMU	Frequência	Frota Utilizada	Tempo Total	Soma_Idade	Quilometragem por Ano	Receita Ajustada	Passageiros por Ano	População
Rota26	1.964	71	2.683	15.914	97.611	547.390	70.089	235.386
Rota27	1.520	41	1.965	12.322	66.120	386.927	67.809	205.596
Rota28	2.136	13	4.272	13.781	140.976	523.950	74.513	347.215
Rota29	15.992	21	19.583	88.134	463.768	2.864.302	584.239	310.195
Rota30	3.992	15	1.672	33.071	33.932	109.135	66.930	54.591
Rota31	2.780	43	3.234	14.663	69.208	282.773	73.168	258.015
Rota32	4.789	62	5.691	32.421	137.157	633.581	138.735	243.365
Rota33	6.882	15	6.638	22.793	116.994	414.432	125.286	202.287
Rota34	11.721	55	15.398	46.286	337.682	1.430.453	330.865	257.019
Rota35	13.040	62	15.086	66.409	336.302	1.534.222	361.227	224.947
Rota36	13.125	61	14.972	58.998	337.116	1.674.223	388.476	215.784
Rota37	12.971	41	18.706	64.713	495.557	2.252.615	988.686	213.495
Rota38	13.631	62	17.747	65.108	391.619	1.889.985	441.989	273.974
Rota39	14.536	70	19.992	64.057	420.236	2.216.047	522.485	355.394
Rota40	14.910	65	21.256	68.214	467.578	2.515.121	590.102	357.390
Rota44	13.523	96	17.130	48.211	435.441	2.328.370	544.892	208.644
Rota45	26.107	161	27.172	74.910	456.873	3.375.871	930.061	202.257
Rota46	9.971	109	9.871	51.124	172.498	1.135.819	306.485	192.763
Rota49	14.308	117	14.203	35.038	236.082	1.594.609	438.147	228.355

Ano 2020

DMU	Frequência	Frota Utilizada	Tempo Total	Soma Idade	Quilometragem por Ano	Receita Ajustada	Passageiros por Ano	População
Rota53	7.792	109	7.176	30.365	109.867	693.692	192.001	194.944
Rota55	13.080	138	12.539	28.761	228.900	1.308.870	366.995	204.542
Rota56	18.246	156	19.199	52.806	310.182	2.471.428	693.573	242.999
Rota57	24.258	150	25.426	77.062	414.812	3.316.461	950.565	173.818
Rota58	21.878	158	24.547	85.107	374.114	2.626.646	719.854	182.871
Rota59	14.181	162	17.328	52.384	304.892	1.680.311	461.419	187.018
Rota60	9.889	119	10.633	46.357	195.308	952.983	255.929	209.098
Rota61	7.583	121	9.185	30.660	193.367	1.209.202	280.805	209.340
Rota67	1.171	54	1.931	6.567	53.866	32.350	11.012	56.077
Rota68	4.316	27	4.093	38.303	90.636	281.589	91.869	122.015
Rota74	2.559	28	2.501	19.158	53.739	214.608	71.343	122.015
Rota75	12.988	31	25.632	109.155	870.196	3.513.804	560.248	281.627
Rota81	10.282	105	10.178	39.450	215.922	1.265.986	321.183	186.885
Rota83	26.541	149	30.188	136.231	504.279	3.928.941	1.077.500	273.427
Rota85	1.472	21	1.582	10.969	69.184	64.353	9.797	60.564
Rota86	1.880	18	3.672	13.352	124.080	578.315	71.058	347.215
Rota87	362	18	809	2.818	19.910	144.185	26.198	328.646
Rota88	81	23	88	344	1.377	12.404	3.318	273.427

Ano 2021

DMU	Frequência	FrotaUtilizada	TempoTotal	Soma_Idade	QuilometragemporAno	ReceitaAjustada	PassageirosporAno	Populacao
Rota03	6.263	30	12.764	54.543	450.936	2.126.345	207.596	233.626
Rota08	3.367	1	3.616	13.468	60.606	355.554	65.584	366.803
Rota09	272	13	698	1.188	14.362	137.000	23.070	336.647
Rota10	13.431	18	16.215	78.049	368.009	2.776.568	503.243	307.009
Rota11	464	24	355	4.739	4.802	13.939	7.616	57.413
Rota12	1.443	22	1.610	11.779	18.975	136.187	48.145	153.259
Rota14	1.625	66	2.863	15.133	107.169	513.560	54.125	236.352
Rota16	359	54	862	3.642	27.338	143.605	14.674	10.018
Rota17	10.761	72	17.361	104.413	696.237	2.704.485	270.799	273.468
Rota18	2.745	35	3.788	20.247	137.250	618.332	100.718	232.404
Rota19	1.674	34	2.078	12.746	77.506	387.738	65.529	225.121
Rota20	251	37	767	2.507	14.520	69.402	6.479	289.440
Rota21	2.196	65	4.648	20.828	165.139	978.014	86.700	300.679
Rota23	1.575	35	2.128	11.345	56.700	279.143	50.413	209.552
Rota24	939	32	1.461	6.559	38.499	170.074	29.977	216.140
Rota25	1.257	31	1.716	9.615	78.123	261.814	42.989	219.836
Rota26	1.116	58	1.403	10.328	55.465	426.840	49.633	237.169
Rota27	1.710	33	2.161	11.419	74.385	385.145	62.952	207.045
Rota28	1.856	11	3.791	13.049	122.496	531.146	65.729	349.909
Rota29	18.088	18	21.908	110.788	524.552	3.662.162	666.176	312.422
Rota30	3.545	8	1.437	32.555	30.133	91.080	48.751	55.139

Ano 2021

DMU	Frequência	FrotaUtilizada	TempoTotal	Soma_Idade	QuilometragemporAno	ReceitaAjustada	PassageirosporAno	Populacao
Rota31	3.223	13	3.777	19.733	80.237	384.395	88.838	259.738
Rota32	5.900	54	7.152	45.712	168.976	868.936	171.258	245.136
Rota34	12.417	49	16.881	58.509	357.734	1.820.780	369.839	258.764
Rota35	12.848	50	15.765	75.415	331.350	1.874.371	385.068	226.436
Rota36	13.708	50	16.735	71.644	352.090	2.066.272	425.419	217.211
Rota37	14.086	12	20.060	77.664	538.156	2.792.752	1.069.240	215.425
Rota38	14.706	53	19.836	71.082	422.503	2.265.160	473.197	275.810
Rota39	15.262	53	20.958	81.350	441.224	2.637.294	553.850	357.991
Rota40	15.979	52	22.983	79.820	501.101	2.989.395	628.529	360.047
Rota44	17.809	61	22.141	66.004	573.450	3.134.691	652.391	210.352
Rota45	28.041	136	29.564	78.067	490.718	3.823.878	945.560	203.891
Rota46	15.372	90	16.483	92.182	265.936	1.774.701	429.262	194.286
Rota49	16.027	91	16.129	48.055	264.446	1.810.295	448.320	230.223
Rota50	3.943	17	2.913	5.109	47.316	268.685	65.778	145.706
Rota52	1.549	31	2.332	2.567	50.730	220.426	23.901	271.029
Rota53	8.348	90	8.130	24.977	117.707	728.523	181.809	196.450
Rota54	20.389	89	22.215	54.753	351.710	2.396.071	621.378	183.629
Rota55	15.822	90	15.883	44.305	276.885	1.544.708	390.843	206.200
Rota56	20.689	138	22.524	60.522	351.713	2.685.210	677.619	245.034

Ano 2021

DMU	Frequência	FrotaUtilizada	TempoTotal	Soma_Idade	QuilometragemporAno	ReceitaAjustada	PassageirosporAno	Populacao
Rota57	25.543	128	26.832	81.458	436.785	3.370.552	868.892	175.170
Rota58	25.985	132	30.353	81.087	444.343	3.356.366	830.907	184.327
Rota59	15.375	115	17.274	32.358	330.563	1.425.182	356.315	188.511
Rota60	10.597	79	11.380	61.162	209.291	1.011.005	244.168	210.820
Rota61	10.794	34	13.432	38.244	275.247	1.734.444	355.581	211.049
Rota66	490	10	1.035	4.938	12.740	104.663	23.365	198.512
Rota67	1.309	35	2.106	4.555	60.214	38.108	12.418	56.666
Rota74	3.023	13	3.267	24.119	63.483	262.857	72.923	123.245
Rota75	14.411	30	29.008	135.326	965.537	3.966.626	537.089	283.796
Rota78	2.299	21	3.316	14.537	78.281	233.749	46.908	321.469
Rota79	258	44	551	1.785	7.748	87.594	15.654	321.424
Rota81	13.092	43	12.659	42.819	274.932	1.657.838	373.713	188.223
Rota82	3.699	30	3.555	22.246	58.074	269.080	64.339	175.170
Rota83	34.396	138	39.802	193.201	653.524	5.304.577	1.317.258	275.808
Rota84	1.327	36	1.687	7.994	30.521	158.179	37.617	210.523
Rota85	1.791	23	1.980	15.646	84.177	76.416	11.721	61.196
Rota86	1.291	15	2.533	9.485	85.206	511.401	50.074	349.909
Rota87	252	14	686	1.780	13.860	149.801	22.805	331.107
Rota89	265	10	692	2.142	18.815	100.736	17.252	332.609
Rota91	257	16	664	2.072	15.934	85.661	14.345	333.224
Rota92	2.942	50	5.535	26.644	158.868	1.117.507	96.435	238.592

Ano 2022

DMU	Frequência	FrotaUtilizada	TempoTotal	Soma_Idade	QuilometragemporAno	ReceitaAjustada	PassageirosporAno	Populacao
Rota08	3.185	5	3.985	16.170	57.330	353.318	64.280	369.125
Rota09	252	14	630	1.401	13.306	131.270	22.547	339.090
Rota10	16.083	18	18.682	114.671	440.674	3.257.245	605.316	309.129
Rota11	449	20	372	7.070	4.647	13.242	7.404	57.957
Rota12	2.579	22	2.414	26.428	33.914	240.999	86.744	154.581
Rota14	1.595	68	2.836	16.045	105.190	631.395	70.660	238.026
Rota16	244	46	448	2.495	18.581	70.430	8.106	10.099
Rota17	12.371	71	21.309	131.257	800.404	3.256.225	353.430	275.400
Rota18	2.520	40	3.705	20.875	126.000	777.167	124.312	234.052
Rota19	2.279	41	3.006	21.133	105.518	671.290	112.776	226.707
Rota20	1.334	60	2.008	13.193	77.172	485.949	44.104	292.063
Rota21	2.564	66	5.750	27.232	192.813	1.044.056	94.825	303.334
Rota23	1.381	35	1.407	10.956	49.716	280.407	49.664	211.021
Rota24	582	39	801	5.178	23.862	127.950	21.013	217.703
Rota25	989	27	1.848	7.873	61.466	270.449	44.152	221.399
Rota26	1.019	61	1.318	10.501	50.644	426.006	48.779	238.890
Rota27	1.863	26	2.397	13.801	81.041	427.998	69.475	208.440
Rota28	1.913	12	4.012	15.067	126.258	615.501	73.460	352.506
Rota29	18.525	19	22.490	118.456	537.225	3.937.420	719.298	314.574
Rota30	3.960	14	1.658	39.481	33.660	117.857	66.316	55.664

Ano 2022

DMU	Frequência	FrotaUtilizada	TempoTotal	Soma_Idade	QuilometragemporAno	ReceitaAjustada	PassageirosporAno	Populacao
Rota31	3.574	8	4.267	24.578	88.975	419.842	99.822	261.401
Rota32	6.493	49	8.423	57.533	185.960	933.059	187.847	246.855
Rota34	13.843	41	19.249	82.206	398.817	2.060.783	428.175	260.458
Rota35	13.079	50	16.435	78.810	337.307	1.847.021	388.757	227.875
Rota36	13.893	50	18.050	85.766	356.842	2.154.731	449.575	218.590
Rota37	15.612	9	22.173	102.165	596.456	3.006.411	1.167.343	217.295
Rota38	14.678	50	20.059	78.334	421.699	2.208.272	467.847	277.583
Rota39	16.540	48	23.133	92.770	478.171	2.632.303	567.833	360.503
Rota40	16.568	47	24.250	97.388	519.572	3.247.880	694.887	362.614
Rota44	18.579	58	23.058	67.188	598.244	3.049.609	660.444	212.013
Rota45	28.413	138	28.347	90.203	497.228	3.989.300	1.016.851	205.487
Rota46	15.490	91	15.994	108.036	267.977	1.804.310	449.822	195.773
Rota49	15.519	88	15.187	41.501	256.064	1.861.554	470.317	232.038
Rota50	5.115	61	3.882	12.767	61.380	375.703	95.957	146.705
Rota52	1.830	11	2.414	1.985	59.933	207.435	23.055	272.894
Rota53	9.408	99	8.874	30.497	132.653	924.290	236.267	197.906
Rota54	20.452	89	21.490	28.587	352.797	2.796.641	730.545	185.034
Rota55	15.726	93	15.061	38.974	275.205	1.680.495	437.523	207.821
Rota56	21.913	127	21.461	76.222	372.521	2.867.482	743.691	247.013

Ano 2022

DMU	Frequência	FrotaUtilizada	TempoTotal	Soma_Idade	QuilometragemporAno	ReceitaAjustada	PassageirosporAno	Populacao
Rota57	27.273	129	27.159	78.017	466.368	3.987.889	1.047.259	176.489
Rota58	26.770	139	30.082	55.126	457.767	3.807.282	964.886	185.737
Rota59	15.149	119	15.518	30.072	325.704	1.628.855	413.769	189.964
Rota60	10.314	91	10.643	42.992	203.702	1.030.534	257.365	212.506
Rota61	10.949	61	13.295	34.805	279.200	1.837.415	389.766	212.721
Rota66	399	12	841	4.374	10.374	94.109	20.885	199.818
Rota67	1.515	33	2.159	3.487	69.690	51.735	9.832	57.249
Rota74	2.865	7	2.919	25.695	60.165	209.363	61.355	124.443
Rota77	10.779	41	10.746	94.883	329.837	1.624.829	288.389	221.446
Rota78	2.273	18	3.361	16.378	77.396	231.881	47.671	323.644
Rota79	239	37	466	1.767	7.177	90.204	16.199	323.599
Rota81	13.740	57	13.678	42.860	288.540	1.856.741	429.446	189.511
Rota82	3.911	21	3.639	10.090	61.403	304.501	75.973	176.489
Rota83	34.070	133	37.165	105.377	647.330	5.445.284	1.389.694	278.119
Rota84	1.213	35	1.475	7.192	27.899	170.374	42.028	212.193
Rota86	1.254	17	2.679	10.172	82.764	540.305	51.911	352.506
Rota87	242	14	425	2.163	13.310	127.092	20.013	333.474
Rota91	360	14	647	3.218	22.320	135.868	23.372	335.607
Rota93	475	16	855	4.159	28.975	212.783	31.742	278.246

APÊNDICE D – RESULTADOS POR ROTA - 2016 À 2022

Empresa	Grupo	Corredor	Rota	Ano	Modelo1	Modelo2_e1	Modelo2_e2	Modelo3	Modelo4
Fretcar	4	1	Rota01	2016	0,615	0,366	0,443	-0,218	1,769
Fretcar	4	1	Rota01	2017	0,618	0,454	0,144	-0,209	1,061
Fretcar	4	1	Rota01	2018	0,613	0,439	0,102	-0,227	1,083
Fretcar	4	1	Rota01	2019	0,709	0,583	0,082	-0,194	
Fretcar	3	4	Rota02	2016	0,542	0,368	0,655	-0,252	0,896
Fretcar	3	4	Rota02	2017	0,455	0,343	0,245	-0,326	1,485
Fretcar	3	4	Rota02	2018	0,799	0,506	0,140	-0,149	1,199
Fretcar	3	4	Rota02	2019	1,000	0,613	0,202	-0,261	
Fretcar	4	1	Rota03	2016	0,757	0,541	0,284	-0,122	0,811
Fretcar	4	1	Rota03	2017	0,680	0,514	0,216	-0,137	1,009
Fretcar	4	1	Rota03	2018	0,651	0,481	0,138	-0,183	0,970
Fretcar	4	1	Rota03	2019	0,619	0,524	0,105	-0,259	0,686
Fretcar	4	1	Rota03	2020	0,732	0,539	0,177	-0,152	1,183
Fretcar	4	1	Rota03	2021	0,986	0,590	0,150	-0,076	
Fretcar	4	3	Rota04	2016	0,358	0,339	0,438	-0,417	0,852
Fretcar	4	3	Rota04	2017	0,349	0,349	0,278	-0,491	1,127
Fretcar	4	3	Rota04	2018	0,367	0,362	0,177	-0,370	
Fretcar	3	4	Rota05	2016	1,000	0,534	0,333	-0,339	1,884
Fretcar	3	4	Rota05	2017	1,000	0,559	0,207	-0,378	1,074
Fretcar	3	4	Rota05	2018	0,951	0,588	0,111	-0,313	
Fretcar	4	1	Rota06	2016	1,000	0,336	0,787	-0,136	
Fretcar	4	3	Rota07	2016	0,349	0,337	0,537	-0,290	1,894
Fretcar	4	3	Rota07	2017	0,382	0,367	0,277	-0,372	
MS Turismo	1	x	Rota08	2016	0,433	0,427	0,719	-0,274	0,917
MS Turismo	1	x	Rota08	2017	0,421	0,420	0,521	-0,343	0,952
MS Turismo	1	x	Rota08	2018	0,411	0,406	0,377	-0,384	1,079
MS Turismo	1	x	Rota08	2019	0,464	0,452	0,318	-0,294	0,892
MS Turismo	1	x	Rota08	2020	0,594	0,531	0,432	-0,128	1,159
MS Turismo	1	x	Rota08	2021	0,654	0,558	0,373	-0,132	0,980
MS Turismo	1	x	Rota08	2022	0,666	0,493	0,321	-0,171	
Anfrolanda	3	3	Rota09	2016	0,847	0,720	0,193	-0,120	1,495
Anfrolanda	3	3	Rota09	2017	1,000	0,888	0,111	-0,110	0,917
Anfrolanda	3	3	Rota09	2018	0,918	0,732	0,080	-0,235	0,944
Anfrolanda	3	3	Rota09	2019	0,806	0,781	0,070	-0,190	1,082
Anfrolanda	3	3	Rota09	2020	1,000	1,000	0,102	-0,185	1,303
Anfrolanda	3	3	Rota09	2021	1,000	1,000	0,145	-0,190	0,926
Anfrolanda	3	3	Rota09	2022	1,000	1,000	0,148	-0,237	
Anfrolanda	2	3	Rota10	2016	0,712	0,659	0,300	-0,254	0,940
Anfrolanda	2	3	Rota10	2017	0,728	0,669	0,222	-0,226	1,080
Anfrolanda	2	3	Rota10	2018	0,871	0,724	0,142	-0,295	0,964
Anfrolanda	2	3	Rota10	2019	0,845	0,733	0,132	-0,173	0,833
Anfrolanda	2	3	Rota10	2020	0,971	0,849	0,197	-0,093	1,072
Anfrolanda	2	3	Rota10	2021	1,000	0,827	0,190	-0,103	1,019
Anfrolanda	2	3	Rota10	2022	0,996	0,764	0,171	-0,166	
Anfrolanda	1	3	Rota11	2016	1,000	0,829	0,956	-0,168	1,813
Anfrolanda	1	3	Rota11	2017	1,000	0,933	0,452	-0,171	0,942
Anfrolanda	1	3	Rota11	2018	1,000	0,721	0,358	-0,224	0,886
Anfrolanda	1	3	Rota11	2019	1,000	0,583	0,428	-0,228	0,646
Anfrolanda	1	3	Rota11	2020	0,649	0,548	0,775	-0,331	0,925
Anfrolanda	1	3	Rota11	2021	1,000	0,621	1,000	-0,350	0,990
Anfrolanda	1	3	Rota11	2022	1,000	0,479	1,000	-0,088	
Anfrolanda	1	3	Rota12	2016	1,000	1,000	0,449	-0,140	0,986
Anfrolanda	1	3	Rota12	2017	1,000	1,000	0,294	-0,136	1,178
Anfrolanda	1	3	Rota12	2018	1,000	1,000	0,203	-0,243	0,985
Anfrolanda	1	3	Rota12	2019	1,000	0,990	0,198	-0,195	0,751

Empresa	Grupo	Corredor	Rota	Ano	Modelo1	Modelo2_e1	Modelo2_e2	Modelo3	Modelo4
Anfrolanda	1	3	Rota12	2020	1,000	1,000	0,271	-0,200	0,928
Anfrolanda	1	3	Rota12	2021	1,000	0,915	0,294	-0,185	1,025
Anfrolanda	1	3	Rota12	2022	1,000	1,000	0,216	-0,114	
Anfrolanda	4	3	Rota13	2016	0,509	0,463	0,325	-0,347	0,857
Anfrolanda	4	3	Rota13	2017	0,468	0,455	0,244	-0,393	0,988
Anfrolanda	4	3	Rota13	2018	0,485	0,427	0,155	-0,294	0,931
Anfrolanda	4	3	Rota13	2019	0,469	0,462	0,121	-0,314	
São Benedito	4	6	Rota14	2016	0,279	0,229	0,754	-0,537	0,887
São Benedito	4	6	Rota14	2017	0,290	0,242	0,424	-0,494	1,087
São Benedito	4	6	Rota14	2018	0,287	0,246	0,215	-0,516	1,171
São Benedito	4	6	Rota14	2019	0,331	0,300	0,164	-0,514	1,002
São Benedito	4	6	Rota14	2020	0,550	0,487	0,198	-0,198	1,242
São Benedito	4	6	Rota14	2021	0,740	0,500	0,277	-0,137	1,220
São Benedito	4	6	Rota14	2022	0,952	0,638	0,189	-0,095	
São Benedito	4	5	Rota15	2016	0,900	0,319	0,463	-0,126	0,728
São Benedito	4	5	Rota15	2017	1,000	0,239	1,000	-0,191	1,106
São Benedito	4	5	Rota15	2018	1,000	0,278	0,819	-0,249	1,103
São Benedito	4	5	Rota15	2019	0,987	0,328	0,475	-0,143	
São Benedito	4	6	Rota16	2016	0,987	0,313	1,000	-0,954	1,166
São Benedito	4	6	Rota16	2017	1,000	0,398	0,960	-0,139	0,813
São Benedito	4	6	Rota16	2018	0,974	0,331	0,460	-0,147	1,021
São Benedito	4	6	Rota16	2019	0,831	0,391	0,294	-0,142	0,957
São Benedito	4	6	Rota16	2020	0,706	0,584	0,266	-0,199	1,041
São Benedito	4	6	Rota16	2021	0,778	0,515	0,676	-0,136	0,853
São Benedito	4	6	Rota16	2022	0,944	0,467	1,000	-0,070	
São Benedito	4	6	Rota17	2016	0,216	0,259	0,645	-0,716	1,429
São Benedito	4	6	Rota17	2017	0,301	0,242	0,411	-0,493	1,082
São Benedito	4	6	Rota17	2018	0,305	0,259	0,245	-0,632	1,094
São Benedito	4	6	Rota17	2019	0,346	0,289	0,194	-0,537	0,943
São Benedito	4	6	Rota17	2020	0,703	0,439	0,248	-0,124	1,252
São Benedito	4	6	Rota17	2021	0,907	0,514	0,201	-0,085	0,974
São Benedito	4	6	Rota17	2022	0,863	0,380	0,204	-0,140	
São Benedito	3	6	Rota18	2016	1,000	0,897	0,174	-0,257	0,934
São Benedito	3	6	Rota18	2017	1,000	0,825	0,125	-0,281	0,901
São Benedito	3	6	Rota18	2018	1,000	0,809	0,092	-0,276	0,965
São Benedito	3	6	Rota18	2019	1,000	0,795	0,081	-0,291	0,761
São Benedito	3	6	Rota18	2020	1,000	0,983	0,125	-0,217	0,703
São Benedito	3	6	Rota18	2021	0,733	0,675	0,184	-0,138	1,262
São Benedito	3	6	Rota18	2022	0,960	0,711	0,128	-0,120	
São Benedito	3	6	Rota19	2016	0,891	0,884	0,228	-0,138	0,924
São Benedito	3	6	Rota19	2017	0,869	0,841	0,132	-0,201	0,967
São Benedito	3	6	Rota19	2018	0,898	0,863	0,098	-0,212	0,912
São Benedito	3	6	Rota19	2019	0,863	0,796	0,095	-0,161	0,877
São Benedito	3	6	Rota19	2020	1,000	1,000	0,134	-0,113	0,818
São Benedito	3	6	Rota19	2021	0,777	0,757	0,186	-0,149	1,192
São Benedito	3	6	Rota19	2022	0,979	0,788	0,129	-0,115	
São Benedito	3	5	Rota20	2016	0,930	0,655	0,241	-0,142	0,817
São Benedito	3	5	Rota20	2017	0,805	0,578	0,174	-0,201	0,673
São Benedito	3	5	Rota20	2018	0,453	0,415	0,169	-0,394	1,252
São Benedito	3	5	Rota20	2019	0,671	0,530	0,120	-0,277	0,801
São Benedito	3	5	Rota20	2020	0,753	0,667	0,163	-0,199	0,703
São Benedito	3	5	Rota20	2021	0,717	0,335	1,000	-0,141	1,841
São Benedito	3	5	Rota20	2022	0,875	0,640	0,233	-0,120	
São Benedito	4	5	Rota21	2016	0,444	0,427	0,378	-0,383	0,882
São Benedito	4	5	Rota21	2017	0,463	0,437	0,219	-0,435	0,799

Empresa	Grupo	Corredor	Rota	Ano	Modelo1	Modelo2_e1	Modelo2_e2	Modelo3	Modelo4
São Benedito	4	5	Rota21	2018	0,388	0,348	0,176	-0,473	1,107
São Benedito	4	5	Rota21	2019	0,400	0,394	0,129	-0,482	0,801
São Benedito	4	5	Rota21	2020	0,618	0,511	0,162	-0,171	1,393
São Benedito	4	5	Rota21	2021	1,000	0,607	0,153	-0,124	0,843
São Benedito	4	5	Rota21	2022	0,941	0,426	0,159	-0,145	
São Benedito	3	5	Rota22	2016	1,000	0,642	0,426	-0,179	0,796
São Benedito	3	5	Rota22	2017	1,000	0,507	0,551	-0,169	0,963
São Benedito	3	5	Rota22	2018	0,904	0,523	0,169	-0,214	0,800
São Benedito	3	5	Rota22	2019	0,897	0,431	0,169	-0,188	
São Benedito	2	6	Rota23	2016	0,933	0,933	0,212	-0,118	0,896
São Benedito	2	6	Rota23	2017	0,874	0,871	0,137	-0,160	0,921
São Benedito	2	6	Rota23	2018	0,833	0,832	0,103	-0,149	0,843
São Benedito	2	6	Rota23	2019	0,768	0,724	0,124	-0,114	0,646
São Benedito	2	6	Rota23	2020	0,676	0,669	0,217	-0,096	0,984
São Benedito	2	6	Rota23	2021	0,614	0,604	0,228	-0,137	1,384
São Benedito	2	6	Rota23	2022	0,788	0,735	0,196	-0,087	
São Benedito	3	6	Rota24	2016	0,765	0,587	0,419	-0,129	0,982
São Benedito	3	6	Rota24	2017	0,693	0,603	0,229	-0,223	1,016
São Benedito	3	6	Rota24	2018	0,765	0,654	0,135	-0,137	0,972
São Benedito	3	6	Rota24	2019	0,750	0,644	0,118	-0,166	0,975
São Benedito	3	6	Rota24	2020	0,931	0,920	0,182	-0,086	0,631
São Benedito	3	6	Rota24	2021	0,562	0,461	0,304	-0,145	1,245
São Benedito	3	6	Rota24	2022	0,566	0,562	0,425	-0,164	
São Benedito	4	6	Rota25	2016	1,000	1,000	0,167	-0,250	0,897
São Benedito	4	6	Rota25	2017	1,000	1,000	0,080	-0,280	1,023
São Benedito	4	6	Rota25	2018	1,000	1,000	0,057	-0,283	0,893
São Benedito	4	6	Rota25	2019	1,000	1,000	0,055	-0,251	0,562
São Benedito	4	6	Rota25	2020	1,000	0,977	0,115	-0,138	0,636
São Benedito	4	6	Rota25	2021	0,655	0,608	0,219	-0,135	1,023
São Benedito	4	6	Rota25	2022	0,633	0,543	0,163	-0,159	
São Benedito	3	5	Rota26	2016	0,711	0,642	0,232	-0,239	0,799
São Benedito	3	5	Rota26	2017	0,615	0,532	0,186	-0,287	0,981
São Benedito	3	5	Rota26	2018	0,620	0,558	0,128	-0,266	0,975
São Benedito	3	5	Rota26	2019	0,624	0,559	0,118	-0,238	0,903
São Benedito	3	5	Rota26	2020	0,818	0,797	0,174	-0,132	1,392
São Benedito	3	5	Rota26	2021	1,000	0,900	0,260	-0,184	1,063
São Benedito	3	5	Rota26	2022	1,000	0,935	0,238	-0,172	
São Benedito	4	5	Rota27	2016	0,949	0,796	0,426	-0,121	1,962
São Benedito	4	5	Rota27	2017	0,966	0,881	0,149	-0,132	0,903
São Benedito	4	5	Rota27	2018	0,854	0,836	0,099	-0,138	0,955
São Benedito	4	5	Rota27	2019	0,822	0,808	0,097	-0,138	0,771
São Benedito	4	5	Rota27	2020	0,906	0,901	0,161	-0,099	0,885
São Benedito	4	5	Rota27	2021	0,758	0,740	0,186	-0,142	0,987
São Benedito	4	5	Rota27	2022	0,726	0,612	0,170	-0,120	
São Paulo	4	3	Rota28	2016	0,377	0,334	0,387	-0,378	0,983
São Paulo	4	3	Rota28	2017	0,421	0,383	0,290	-0,347	1,062
São Paulo	4	3	Rota28	2018	0,424	0,386	0,183	-0,308	1,018
São Paulo	4	3	Rota28	2019	0,465	0,460	0,136	-0,302	0,865
São Paulo	4	3	Rota28	2020	0,635	0,565	0,176	-0,134	1,106
São Paulo	4	3	Rota28	2021	0,754	0,564	0,163	-0,114	1,061
São Paulo	4	3	Rota28	2022	0,762	0,475	0,150	-0,115	
São Paulo	2	3	Rota29	2016	0,858	0,682	0,391	-0,138	0,876
São Paulo	2	3	Rota29	2017	0,868	0,724	0,229	-0,143	0,952
São Paulo	2	3	Rota29	2018	0,776	0,657	0,156	-0,299	1,014
São Paulo	2	3	Rota29	2019	0,880	0,693	0,137	-0,225	0,841

Empresa	Grupo	Corredor	Rota	Ano	Modelo1	Modelo2_e1	Modelo2_e2	Modelo3	Modelo4
São Paulo	2	3	Rota29	2020	1,000	0,808	0,204	-0,102	1,078
São Paulo	2	3	Rota29	2021	1,000	0,797	0,194	-0,151	1,051
São Paulo	2	3	Rota29	2022	1,000	0,753	0,165	-0,215	
São Paulo	1	3	Rota30	2016	1,000	0,878	0,690	-0,137	1,155
São Paulo	1	3	Rota30	2017	1,000	0,917	0,496	-0,144	0,908
São Paulo	1	3	Rota30	2018	1,000	0,674	0,467	-0,218	0,905
São Paulo	1	3	Rota30	2019	0,910	0,567	0,536	-0,115	0,782
São Paulo	1	3	Rota30	2020	0,889	0,767	0,659	-0,159	0,830
São Paulo	1	3	Rota30	2021	0,810	0,621	0,772	-0,163	1,205
São Paulo	1	3	Rota30	2022	0,922	0,834	0,468	-0,073	
Viametro	2	3	Rota31	2016	0,901	0,749	0,579	-0,116	0,778
Viametro	2	3	Rota31	2017	0,821	0,722	0,295	-0,129	0,843
Viametro	2	3	Rota31	2018	0,640	0,547	0,217	-0,202	0,867
Viametro	2	3	Rota31	2019	0,519	0,494	0,219	-0,243	0,840
Viametro	2	3	Rota31	2020	0,577	0,562	0,318	-0,108	1,090
Viametro	2	3	Rota31	2021	0,614	0,570	0,290	-0,132	0,998
Viametro	2	3	Rota31	2022	0,567	0,552	0,245	-0,140	
Viametro	2	4	Rota32	2016	0,458	0,390	1,000	-0,237	0,720
Viametro	2	4	Rota32	2017	0,352	0,340	0,642	-0,304	0,928
Viametro	2	4	Rota32	2018	0,312	0,295	0,375	-0,319	1,636
Viametro	2	4	Rota32	2019	0,519	0,518	0,184	-0,153	0,887
Viametro	2	4	Rota32	2020	0,645	0,633	0,267	-0,085	1,042
Viametro	2	4	Rota32	2021	0,676	0,606	0,256	-0,111	0,949
Viametro	2	4	Rota32	2022	0,592	0,532	0,228	-0,171	
Viametro	1	4	Rota33	2016	0,519	0,515	0,624	-0,155	1,177
Viametro	1	4	Rota33	2017	0,736	0,678	0,400	-0,108	1,292
Viametro	1	4	Rota33	2018	0,810	0,768	0,278	-0,228	0,697
Viametro	1	4	Rota33	2019	0,609	0,603	0,271	-0,208	0,655
Viametro	1	4	Rota33	2020	0,480	0,472	0,496	-0,217	
Viametro	2	4	Rota34	2016	0,525	0,522	0,477	-0,159	0,979
Viametro	2	4	Rota34	2017	0,605	0,593	0,274	-0,146	1,073
Viametro	2	4	Rota34	2018	0,585	0,582	0,191	-0,166	0,869
Viametro	2	4	Rota34	2019	0,615	0,569	0,176	-0,161	0,787
Viametro	2	4	Rota34	2020	0,616	0,562	0,288	-0,136	1,090
Viametro	2	4	Rota34	2021	0,705	0,563	0,253	-0,088	1,009
Viametro	2	4	Rota34	2022	0,642	0,543	0,215	-0,126	
Viametro	2	4	Rota35	2016	0,592	0,591	0,426	-0,164	0,933
Viametro	2	4	Rota35	2017	0,653	0,651	0,292	-0,147	0,938
Viametro	2	4	Rota35	2018	0,581	0,573	0,202	-0,183	0,950
Viametro	2	4	Rota35	2019	0,571	0,544	0,194	-0,176	0,818
Viametro	2	4	Rota35	2020	0,631	0,615	0,289	-0,112	1,115
Viametro	2	4	Rota35	2021	0,741	0,626	0,253	-0,083	0,975
Viametro	2	4	Rota35	2022	0,672	0,578	0,224	-0,096	
Viametro	2	4	Rota36	2016	0,639	0,636	0,395	-0,139	0,996
Viametro	2	4	Rota36	2017	0,817	0,752	0,279	-0,100	0,931
Viametro	2	4	Rota36	2018	0,663	0,655	0,176	-0,204	0,922
Viametro	2	4	Rota36	2019	0,664	0,631	0,168	-0,161	0,791
Viametro	2	4	Rota36	2020	0,686	0,669	0,269	-0,115	1,069
Viametro	2	4	Rota36	2021	0,778	0,650	0,244	-0,079	1,010
Viametro	2	4	Rota36	2022	0,736	0,620	0,205	-0,110	
Viametro	3	3	Rota37	2016	1,000	1,000	0,163	-0,285	0,968
Viametro	3	3	Rota37	2017	1,000	1,000	0,114	-0,278	1,079
Viametro	3	3	Rota37	2018	1,000	1,000	0,082	-0,239	1,037
Viametro	3	3	Rota37	2019	1,000	1,000	0,077	-0,253	0,785
Viametro	3	3	Rota37	2020	1,000	1,000	0,136	-0,270	0,993

Empresa	Grupo	Corredor	Rota	Ano	Modelo1	Modelo2_e1	Modelo2_e2	Modelo3	Modelo4
Viametro	3	3	Rota37	2021	1,000	1,000	0,129	-0,249	0,948
Viametro	3	3	Rota37	2022	1,000	1,000	0,100	-0,124	
Viametro	2	4	Rota38	2016	0,683	0,643	0,330	-0,196	0,871
Viametro	2	4	Rota38	2017	0,688	0,654	0,236	-0,187	1,029
Viametro	2	4	Rota38	2018	0,667	0,638	0,163	-0,307	0,988
Viametro	2	4	Rota38	2019	0,725	0,662	0,147	-0,157	0,736
Viametro	2	4	Rota38	2020	0,661	0,647	0,245	-0,136	1,023
Viametro	2	4	Rota38	2021	0,751	0,604	0,237	-0,087	0,976
Viametro	2	4	Rota38	2022	0,664	0,567	0,209	-0,158	
Viametro	2	3	Rota39	2016	0,822	0,730	0,313	-0,148	0,875
Viametro	2	3	Rota39	2017	0,873	0,745	0,238	-0,122	0,963
Viametro	2	3	Rota39	2018	0,967	0,667	0,153	-0,398	1,022
Viametro	2	3	Rota39	2019	0,819	0,734	0,139	-0,175	0,742
Viametro	2	3	Rota39	2020	0,730	0,683	0,228	-0,135	1,053
Viametro	2	3	Rota39	2021	0,815	0,670	0,211	-0,093	0,929
Viametro	2	3	Rota39	2022	0,693	0,597	0,195	-0,205	
Viametro	2	3	Rota40	2016	0,731	0,669	0,312	-0,255	0,963
Viametro	2	3	Rota40	2017	0,800	0,715	0,223	-0,153	1,018
Viametro	2	3	Rota40	2018	1,000	0,656	0,147	-0,400	1,013
Viametro	2	3	Rota40	2019	0,813	0,722	0,131	-0,212	0,779
Viametro	2	3	Rota40	2020	0,810	0,714	0,207	-0,121	1,032
Viametro	2	3	Rota40	2021	0,881	0,687	0,195	-0,092	1,043
Viametro	2	3	Rota40	2022	0,822	0,688	0,159	-0,207	
Viametro	3	4	Rota41	2016	0,498	0,414	0,693	-0,159	0,751
Viametro	3	4	Rota41	2017	0,423	0,350	0,372	-0,307	1,114
Viametro	3	4	Rota41	2018	0,473	0,369	0,246	-0,358	
Viametro	2	4	Rota42	2016	0,361	0,333	0,614	-0,334	0,976
Viametro	2	4	Rota42	2017	0,368	0,340	0,385	-0,335	1,067
Viametro	2	4	Rota42	2018	0,369	0,364	0,244	-0,357	
Viametro	1	4	Rota43	2016	1,000	0,422	1,000	-0,314	
Vitória	3	1	Rota44	2016	1,000	0,818	0,336	-0,945	0,814
Vitória	3	1	Rota44	2017	0,916	0,802	0,231	-0,092	0,902
Vitória	3	1	Rota44	2018	0,695	0,673	0,148	-0,235	1,038
Vitória	3	1	Rota44	2019	0,884	0,787	0,130	-0,151	0,871
Vitória	3	1	Rota44	2020	1,000	0,819	0,203	-0,097	0,964
Vitória	3	1	Rota44	2021	1,000	0,739	0,209	-0,114	0,965
Vitória	3	1	Rota44	2022	0,876	0,705	0,187	-0,121	
Vitória	1	2	Rota45	2016	0,898	0,876	0,361	-0,165	0,957
Vitória	1	2	Rota45	2017	0,985	0,953	0,252	-0,136	1,135
Vitória	1	2	Rota45	2018	1,000	1,000	0,171	-0,228	0,874
Vitória	1	2	Rota45	2019	1,000	0,913	0,162	-0,247	0,815
Vitória	1	2	Rota45	2020	1,000	0,938	0,245	-0,204	0,996
Vitória	1	2	Rota45	2021	1,000	0,875	0,250	-0,219	1,040
Vitória	1	2	Rota45	2022	0,948	0,915	0,198	-0,117	
Vitória	1	2	Rota46	2016	0,811	0,894	0,438	-0,889	0,859
Vitória	1	2	Rota46	2017	0,784	0,784	0,298	-0,107	1,040
Vitória	1	2	Rota46	2018	0,834	0,774	0,210	-0,217	0,937
Vitória	1	2	Rota46	2019	0,782	0,692	0,216	-0,101	0,821
Vitória	1	2	Rota46	2020	0,835	0,795	0,281	-0,083	0,950
Vitória	1	2	Rota46	2021	0,810	0,717	0,298	-0,101	1,049
Vitória	1	2	Rota46	2022	0,780	0,723	0,238	-0,112	
Vitória	3	1	Rota47	2016	1,000	1,000	0,365	-0,234	0,798
Vitória	3	1	Rota47	2017	1,000	1,000	0,215	-0,251	0,870
Vitória	3	1	Rota47	2018	1,000	1,000	0,101	-0,249	0,789
Vitória	3	1	Rota47	2019	1,000	0,948	0,093	-0,131	

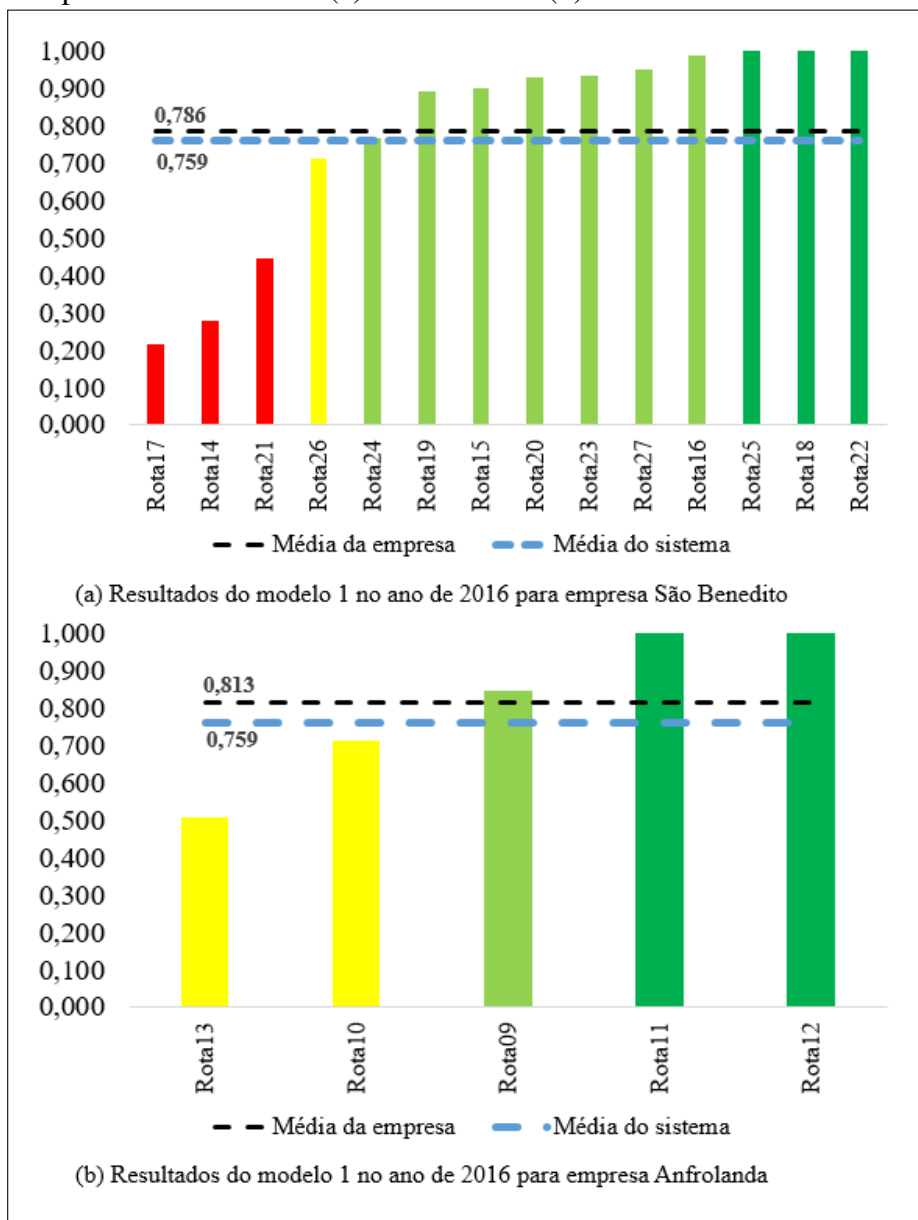
Empresa	Grupo	Corredor	Rota	Ano	Modelo1	Modelo2_e1	Modelo2_e2	Modelo3	Modelo4
Vitória	3	1	Rota48	2016	0,744	0,712	0,537	-0,196	0,839
Vitória	3	1	Rota48	2017	0,737	0,722	0,315	-0,213	0,902
Vitória	3	1	Rota48	2018	0,712	0,672	0,123	-0,249	0,885
Vitória	3	1	Rota48	2019	0,737	0,707	0,109	-0,156	
Vitória	1	2	Rota49	2016	0,749	0,739	0,446	-0,135	0,865
Vitória	1	2	Rota49	2017	0,739	0,721	0,337	-0,119	1,114
Vitória	1	2	Rota49	2018	0,847	0,804	0,211	-0,257	0,993
Vitória	1	2	Rota49	2019	0,815	0,722	0,217	-0,117	0,912
Vitória	1	2	Rota49	2020	0,955	0,890	0,284	-0,095	0,915
Vitória	1	2	Rota49	2021	0,868	0,750	0,301	-0,089	1,104
Vitória	1	2	Rota49	2022	0,846	0,767	0,254	-0,132	
Vitória	1	2	Rota50	2016	0,737	0,687	0,676	-0,152	0,990
Vitória	1	2	Rota50	2017	0,771	0,752	0,437	-0,126	0,973
Vitória	1	2	Rota50	2018	0,704	0,655	0,340	-0,162	0,956
Vitória	1	2	Rota50	2019	0,694	0,657	0,328	-0,156	
Vitória	1	2	Rota50	2021	0,876	0,681	0,502	-0,139	1,010
Vitória	1	2	Rota50	2022	0,691	0,651	0,378	-0,084	
Vitória	3	2	Rota51	2016	1,000	0,590	0,579	-0,149	0,899
Vitória	3	2	Rota51	2017	0,870	0,651	0,338	-0,185	0,910
Vitória	3	2	Rota51	2018	0,799	0,584	0,144	-0,262	0,932
Vitória	3	2	Rota51	2019	0,802	0,645	0,141	-0,144	
Vitória	2	1	Rota52	2016	0,828	0,448	0,629	-0,169	0,569
Vitória	2	1	Rota52	2017	0,735	0,358	0,523	-0,159	0,866
Vitória	2	1	Rota52	2018	0,639	0,308	0,321	-0,302	1,631
Vitória	2	1	Rota52	2019	0,874	0,607	0,263	-0,144	
Vitória	2	1	Rota52	2021	1,000	0,514	0,471	-0,162	1,191
Vitória	2	1	Rota52	2022	1,000	1,000	0,312	-0,155	
Vitória	1	2	Rota53	2016	0,760	0,747	0,539	-0,150	0,932
Vitória	1	2	Rota53	2017	0,804	0,793	0,357	-0,109	1,042
Vitória	1	2	Rota53	2018	0,859	0,814	0,237	-0,219	0,930
Vitória	1	2	Rota53	2019	0,795	0,725	0,253	-0,103	0,776
Vitória	1	2	Rota53	2020	0,788	0,715	0,354	-0,090	0,952
Vitória	1	2	Rota53	2021	0,772	0,658	0,388	-0,086	1,144
Vitória	1	2	Rota53	2022	0,795	0,754	0,271	-0,113	
Vitória	1	2	Rota54	2016	0,993	0,929	0,458	-0,834	0,744
Vitória	1	2	Rota54	2017	0,845	0,823	0,291	-0,094	1,072
Vitória	1	2	Rota54	2018	0,894	0,841	0,195	-0,205	1,054
Vitória	1	2	Rota54	2019	0,941	0,915	0,166	-0,109	
Vitória	1	2	Rota54	2021	0,915	0,788	0,282	-0,121	1,344
Vitória	1	2	Rota54	2022	1,000	1,000	0,242	-0,105	
Vitória	1	2	Rota55	2016	0,808	0,800	0,427	-0,135	0,823
Vitória	1	2	Rota55	2017	0,770	0,770	0,305	-0,148	1,022
Vitória	1	2	Rota55	2018	0,792	0,735	0,221	-0,230	1,068
Vitória	1	2	Rota55	2019	0,890	0,853	0,188	-0,115	0,829
Vitória	1	2	Rota55	2020	0,960	0,816	0,313	-0,092	0,825
Vitória	1	2	Rota55	2021	0,732	0,633	0,344	-0,146	1,163
Vitória	1	2	Rota55	2022	0,764	0,748	0,257	-0,118	
Vitória	1	2	Rota56	2016	1,000	0,934	0,363	-0,242	0,865
Vitória	1	2	Rota56	2017	1,000	1,000	0,255	-0,297	1,094
Vitória	1	2	Rota56	2018	0,989	0,982	0,179	-0,274	0,926
Vitória	1	2	Rota56	2019	1,000	0,840	0,181	-0,174	0,850
Vitória	1	2	Rota56	2020	1,000	1,000	0,231	-0,147	0,909
Vitória	1	2	Rota56	2021	0,985	0,854	0,259	-0,098	1,023
Vitória	1	2	Rota56	2022	0,899	0,867	0,209	-0,141	
Vitória	1	2	Rota57	2016	0,956	0,852	0,376	-0,173	0,959

Empresa	Grupo	Corredor	Rota	Ano	Modelo1	Modelo2_e1	Modelo2_e2	Modelo3	Modelo4
Vitória	1	2	Rota57	2017	0,972	0,957	0,272	-0,167	1,125
Vitória	1	2	Rota57	2018	0,980	0,967	0,180	-0,196	0,967
Vitória	1	2	Rota57	2019	1,000	0,888	0,170	-0,169	0,817
Vitória	1	2	Rota57	2020	1,000	1,000	0,226	-0,222	0,916
Vitória	1	2	Rota57	2021	1,000	0,861	0,252	-0,132	1,142
Vitória	1	2	Rota57	2022	1,000	1,000	0,186	-0,101	
Vitória	1	2	Rota58	2016	0,681	0,678	0,512	-0,128	0,967
Vitória	1	2	Rota58	2017	0,738	0,735	0,320	-0,106	1,247
Vitória	1	2	Rota58	2018	0,945	0,895	0,185	-0,206	0,982
Vitória	1	2	Rota58	2019	0,907	0,790	0,191	-0,131	0,778
Vitória	1	2	Rota58	2020	0,878	0,811	0,264	-0,116	1,041
Vitória	1	2	Rota58	2021	0,962	0,826	0,263	-0,118	1,208
Vitória	1	2	Rota58	2022	1,000	0,953	0,214	-0,106	
Vitória	2	2	Rota59	2016	0,731	0,720	0,495	-0,134	0,833
Vitória	2	2	Rota59	2017	0,735	0,718	0,298	-0,133	1,014
Vitória	2	2	Rota59	2018	0,699	0,667	0,202	-0,211	0,963
Vitória	2	2	Rota59	2019	0,669	0,659	0,184	-0,139	0,840
Vitória	2	2	Rota59	2020	0,712	0,705	0,268	-0,147	0,932
Vitória	2	2	Rota59	2021	0,886	0,533	0,365	-0,097	1,240
Vitória	2	2	Rota59	2022	0,747	0,588	0,309	-0,108	
Vitória	1	2	Rota60	2016	0,542	0,531	0,576	-0,153	0,957
Vitória	1	2	Rota60	2017	0,569	0,557	0,380	-0,146	1,054
Vitória	1	2	Rota60	2018	0,575	0,545	0,266	-0,236	0,943
Vitória	1	2	Rota60	2019	0,551	0,535	0,248	-0,126	0,880
Vitória	1	2	Rota60	2020	0,638	0,609	0,334	-0,100	0,923
Vitória	1	2	Rota60	2021	0,612	0,540	0,361	-0,125	1,093
Vitória	1	2	Rota60	2022	0,609	0,587	0,278	-0,121	
Vitória	2	2	Rota61	2016	0,764	0,756	0,413	-0,115	0,867
Vitória	2	2	Rota61	2017	0,794	0,777	0,236	-0,108	0,985
Vitória	2	2	Rota61	2018	0,729	0,709	0,163	-0,236	0,992
Vitória	2	2	Rota61	2019	0,749	0,743	0,139	-0,137	0,825
Vitória	2	2	Rota61	2020	0,828	0,798	0,220	-0,097	0,930
Vitória	2	2	Rota61	2021	0,916	0,683	0,230	-0,094	1,099
Vitória	2	2	Rota61	2022	0,908	0,759	0,187	-0,121	
Vitória	1	2	Rota62	2016	0,710	0,764	0,482	-0,121	0,964
Vitória	1	2	Rota62	2017	0,758	0,722	0,324	-0,095	
Vitória	1	2	Rota63	2016	1,000	1,000	0,316	-0,185	0,838
Vitória	1	2	Rota63	2017	1,000	1,000	0,235	-0,183	
Vitória	2	1	Rota64	2016	0,786	0,787	0,491	-0,832	0,876
Vitória	2	1	Rota64	2017	0,801	0,798	0,266	-0,093	
Fretcar	4	1	Rota65	2017	0,590	0,403	0,220	-0,209	
São Benedito	2	5	Rota66	2017	1,000	0,899	0,372	-0,235	1,012
São Benedito	2	5	Rota66	2018	1,000	0,932	0,168	-0,221	0,974
São Benedito	2	5	Rota66	2019	1,000	0,908	0,109	-0,269	
São Benedito	2	5	Rota66	2021	0,843	0,833	0,169	-0,153	1,095
São Benedito	2	5	Rota66	2022	0,863	0,811	0,170	-0,114	
Vitória	3	1	Rota67	2017	0,621	0,189	1,000	-0,154	0,546
Vitória	3	1	Rota67	2018	0,616	0,101	1,000	-0,064	0,727
Vitória	3	1	Rota67	2019	0,469	0,079	1,000	-0,238	1,095
Vitória	3	1	Rota67	2020	0,129	0,119	1,000	-1,677	1,437
Vitória	3	1	Rota67	2021	0,307	0,151	1,000	-0,423	0,966
Vitória	3	1	Rota67	2022	0,402	0,152	1,000	-0,033	
Fretcar	1	x	Rota68	2018	0,641	0,636	0,228	-0,137	1,098
Fretcar	1	x	Rota68	2019	0,718	0,713	0,184	-0,129	0,541
Fretcar	1	x	Rota68	2020	0,510	0,500	0,434	-0,224	

Empresa	Grupo	Corredor	Rota	Ano	Modelo1	Modelo2_e1	Modelo2_e2	Modelo3	Modelo4
Fretcar	4	1	Rota70	2018	0,573	0,405	0,121	-0,273	0,874
Fretcar	4	1	Rota70	2019	0,537	0,423	0,109	-0,268	
Viametro	2	4	Rota74	2018	0,647	0,641	0,225	-0,137	1,049
Viametro	2	4	Rota74	2019	0,691	0,686	0,188	-0,141	0,725
Viametro	2	4	Rota74	2020	0,650	0,637	0,334	-0,179	0,878
Viametro	2	4	Rota74	2021	0,571	0,507	0,368	-0,179	0,899
Viametro	2	4	Rota74	2022	0,484	0,478	0,334	-0,071	
Fretcar	4	4	Rota75	2019	1,000	0,618	0,082	-0,312	0,651
Fretcar	4	4	Rota75	2020	1,000	0,605	0,158	-0,125	0,922
Fretcar	4	4	Rota75	2021	0,895	0,538	0,164	-0,142	
Fretcar	3	4	Rota76	2019	0,497	0,476	0,158	-0,239	
São Benedito	3	6	Rota77	2019	0,758	0,734	0,129	-0,158	
São Benedito	3	6	Rota77	2022	0,804	0,558	0,240	-0,126	
Viametro	3	3	Rota78	2019	0,472	0,410	0,222	-0,310	
Viametro	3	3	Rota78	2021	0,361	0,355	0,367	-0,256	1,003
Viametro	3	3	Rota78	2022	0,337	0,330	0,316	-0,184	
Viametro	2	3	Rota79	2019	0,373	0,371	0,239	-0,211	
Viametro	2	3	Rota79	2021	1,000	1,000	0,663	-0,182	1,122
Viametro	2	3	Rota79	2022	1,000	1,000	0,527	-0,184	
Viametro	2	3	Rota80	2019	1,000	1,000	0,105	-0,248	
Vitória	2	1	Rota81	2019	0,722	0,711	0,178	-0,139	0,841
Vitória	2	1	Rota81	2020	0,816	0,794	0,266	-0,086	0,967
Vitória	2	1	Rota81	2021	0,870	0,719	0,277	-0,089	1,083
Vitória	2	1	Rota81	2022	0,852	0,765	0,220	-0,108	
Vitória	1	2	Rota82	2019	0,642	0,553	0,298	-0,096	
Vitória	1	2	Rota82	2021	0,546	0,497	0,476	-0,140	1,169
Vitória	1	2	Rota82	2022	0,563	0,518	0,393	-0,101	
Vitória	1	2	Rota83	2019	1,000	0,882	0,154	-0,230	0,763
Vitória	1	2	Rota83	2020	1,000	0,921	0,214	-0,216	0,994
Vitória	1	2	Rota83	2021	1,000	0,890	0,220	-0,217	1,122
Vitória	1	2	Rota83	2022	1,000	0,973	0,174	-0,158	
Vitória	2	2	Rota84	2019	0,644	0,607	0,186	-0,256	
Vitória	2	2	Rota84	2021	0,620	0,596	0,328	-0,156	1,235
Vitória	2	2	Rota84	2022	0,703	0,650	0,260	-0,121	
Fretcar	3	x	Rota85	2020	0,184	0,174	1,000	-0,773	0,952
Fretcar	3	x	Rota85	2021	0,256	0,148	1,000	-0,496	
Anfrolanda	4	3	Rota86	2020	0,729	0,627	0,156	-0,116	1,262
Anfrolanda	4	3	Rota86	2021	1,000	0,734	0,128	-0,101	0,994
Anfrolanda	4	3	Rota86	2022	0,987	0,537	0,130	-0,201	
Anfrolanda	3	3	Rota87	2020	0,938	0,933	0,102	-0,101	1,292
Anfrolanda	3	3	Rota87	2021	1,000	1,000	0,148	-0,168	1,081
Anfrolanda	3	3	Rota87	2022	1,000	1,000	0,159	-0,190	
Vitória	1	2	Rota88	2020	1,000	1,000	1,000	-0,248	
Anfrolanda	4	4	Rota89	2021	0,839	0,614	0,159	-0,112	
Anfrolanda	3	3	Rota91	2021	0,844	0,544	0,271	-0,103	1,441
Anfrolanda	3	3	Rota91	2022	0,760	0,742	0,151	-0,191	
São Benedito	3	5	Rota92	2021	1,000	0,669	0,142	-0,104	
Anfrolanda	4	4	Rota93	2022	0,960	0,815	0,123	-0,159	

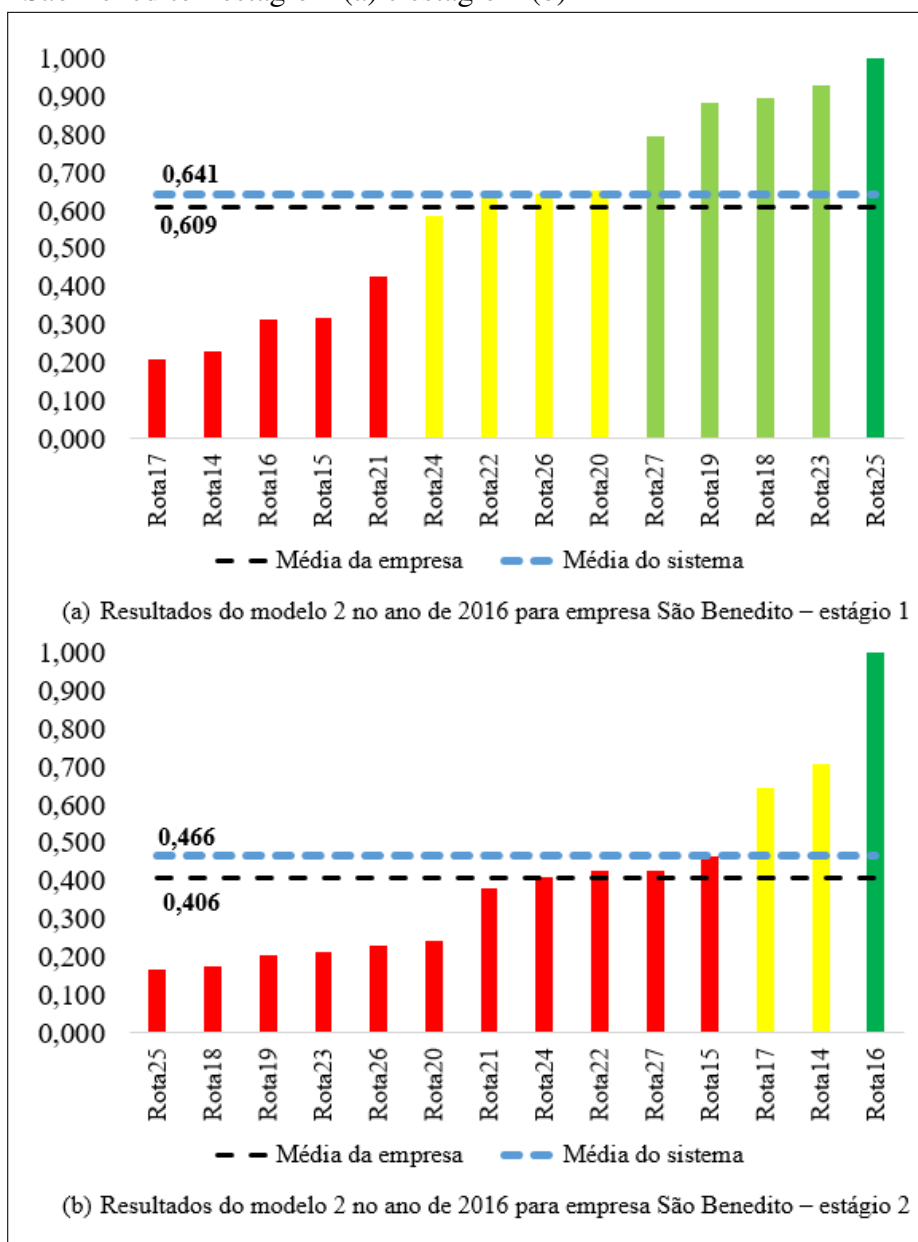
APÊNDICE E – GRÁFICO DOS RESULTADOS POR EMPRESA

Figura 71 – Resultados do modelo 1 no ano de 2016 por rotas das empresas São Benedito (a) e Anfrolanda (b)



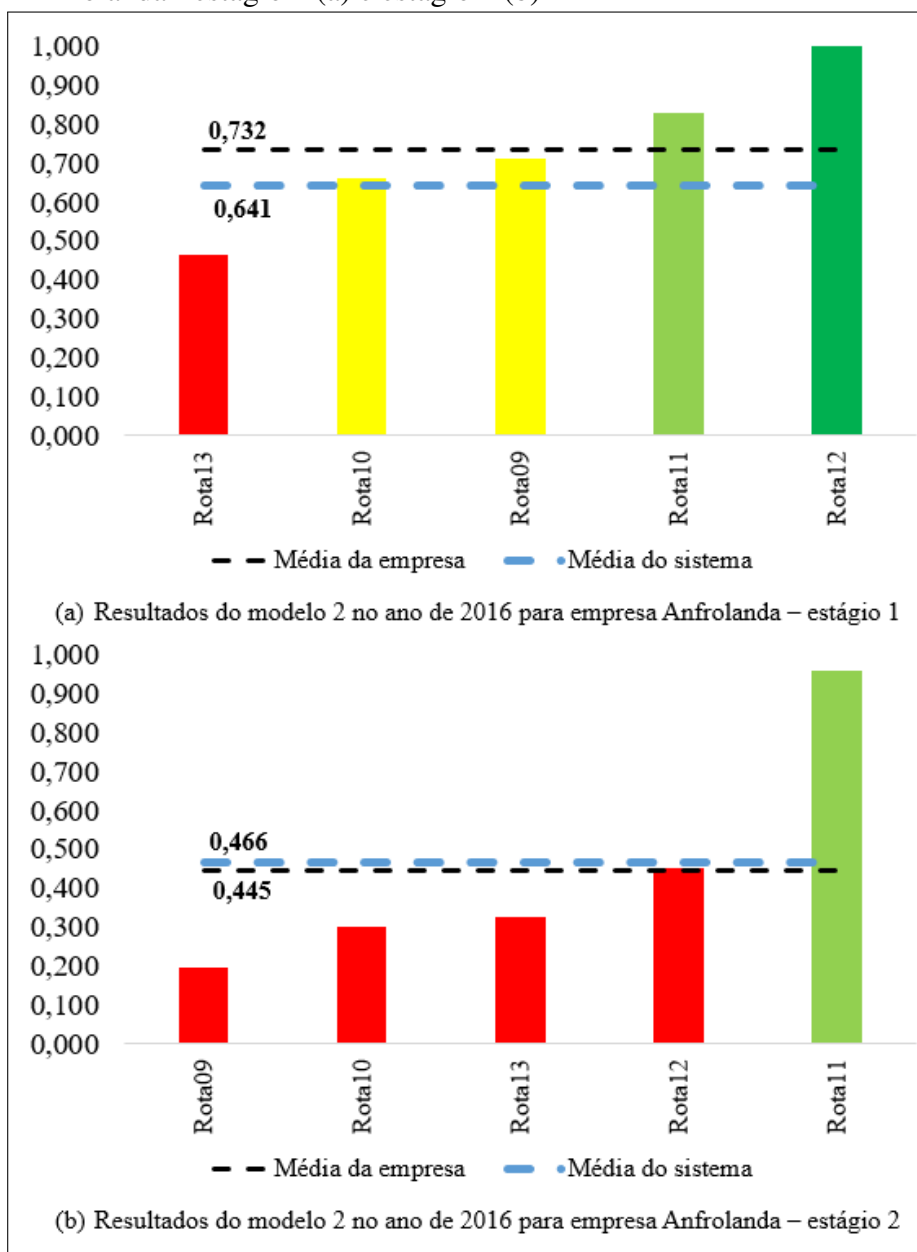
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Figura 72 – Resultados do modelo 2 no ano de 2016 por rotas da empresa São Benedito - estágio 1 (a) e estágio 2 (b)



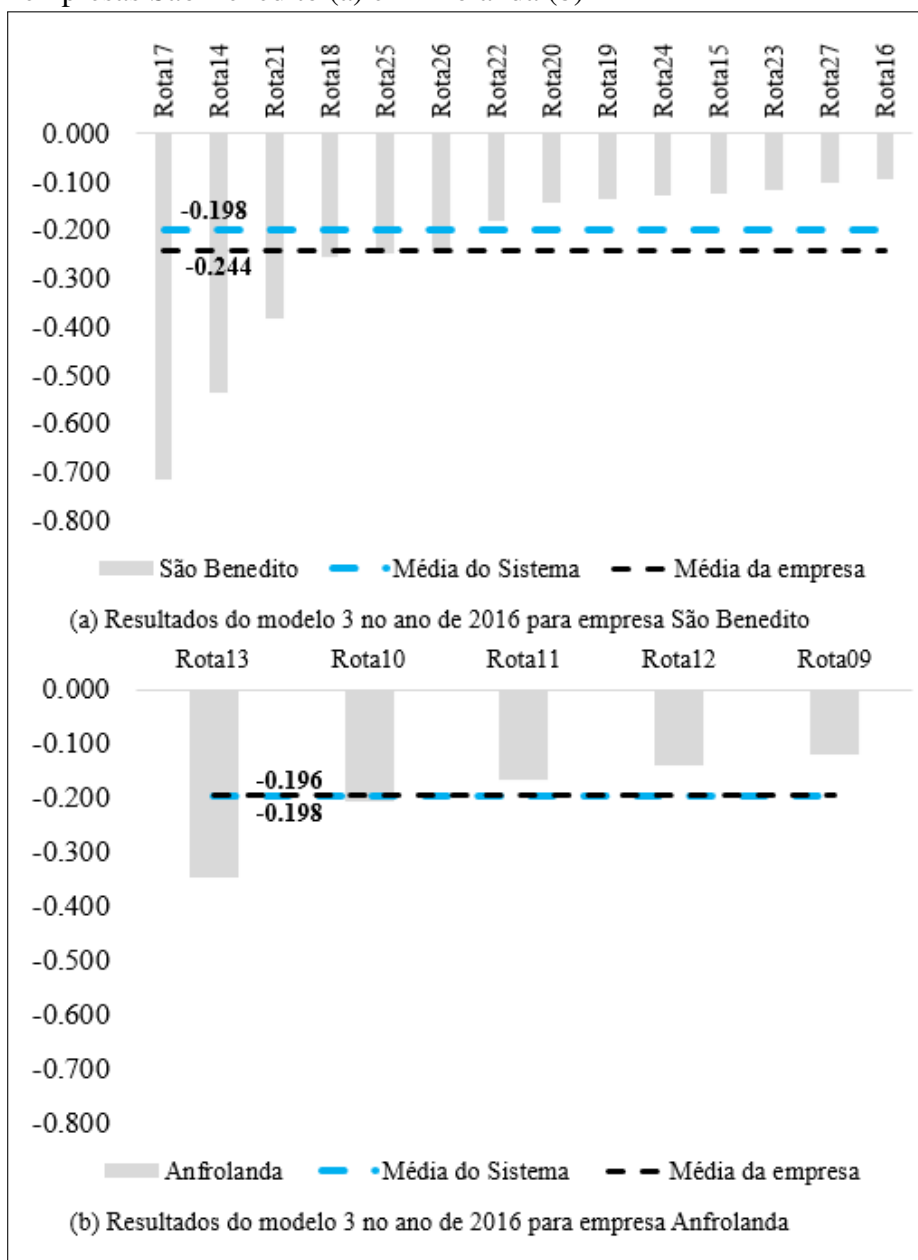
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Figura 73 – Resultados do modelo 2 no ano de 2016 por rotas da empresa Anfrolanda - estágio 1 (a) e estágio 2 (b)



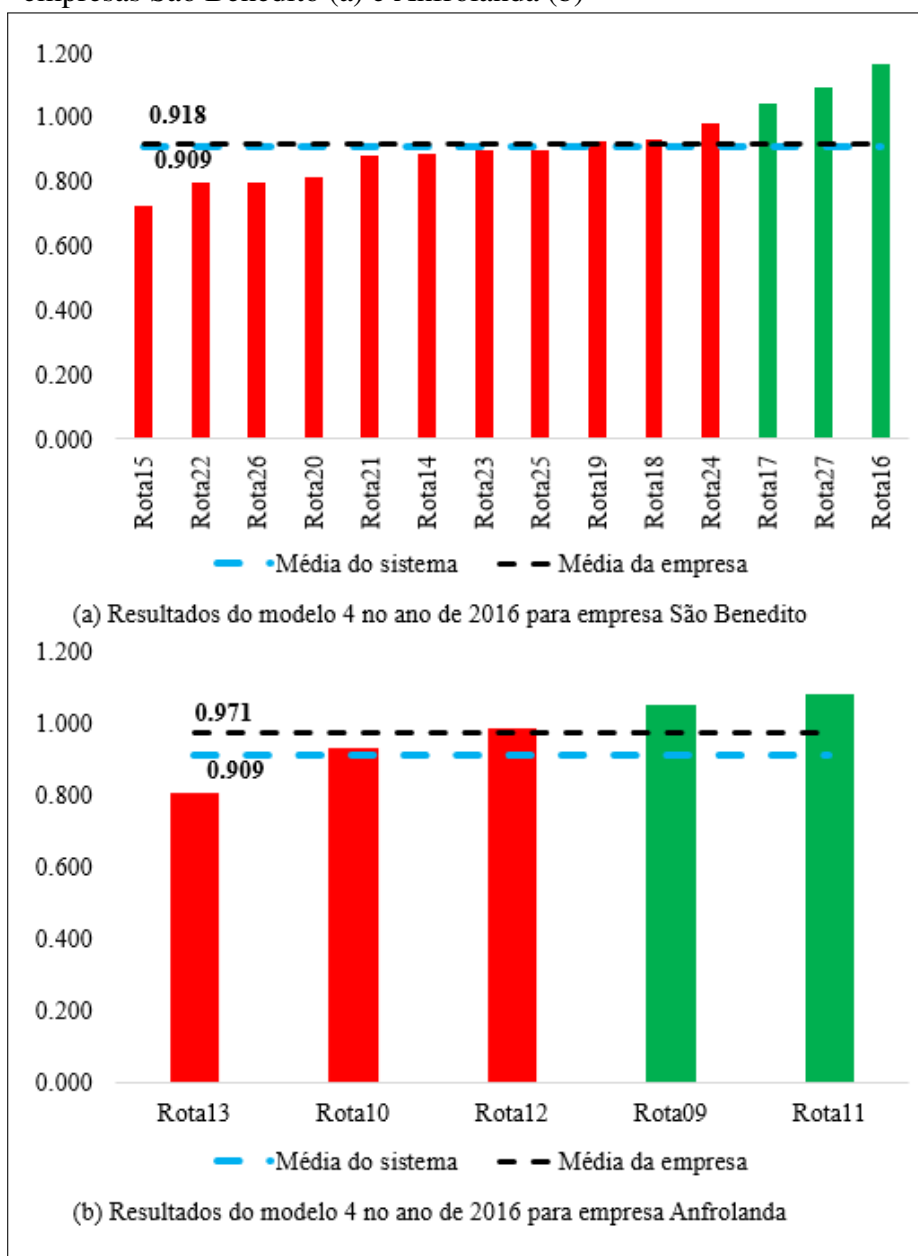
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Figura 74 – Resultados do modelo 3 no ano de 2016 por rotas das empresas São Benedito (a) e Anfrolanda (b)



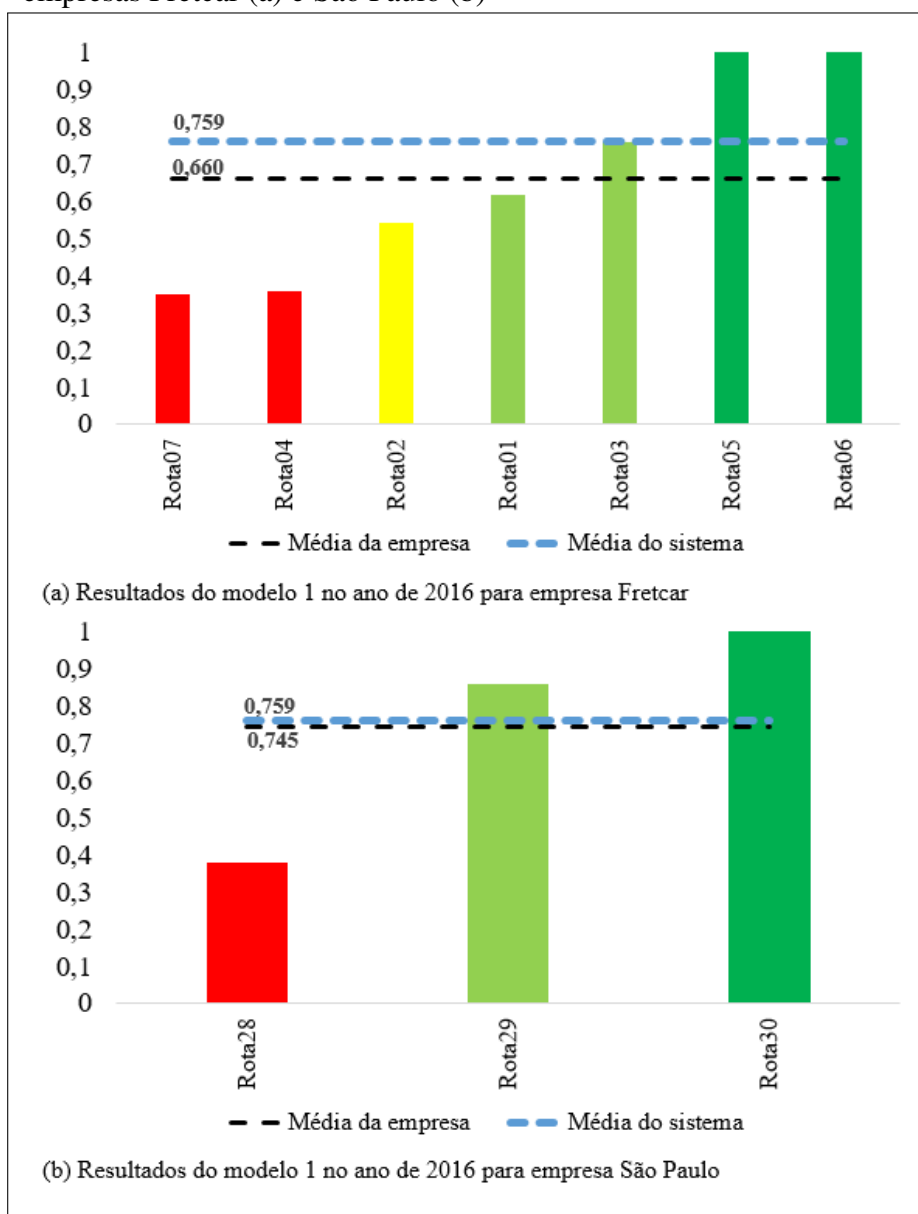
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Figura 75 – Resultados do modelo 4 no período 2016/2017 por rotas das empresas São Benedito (a) e Anfrolândia (b)



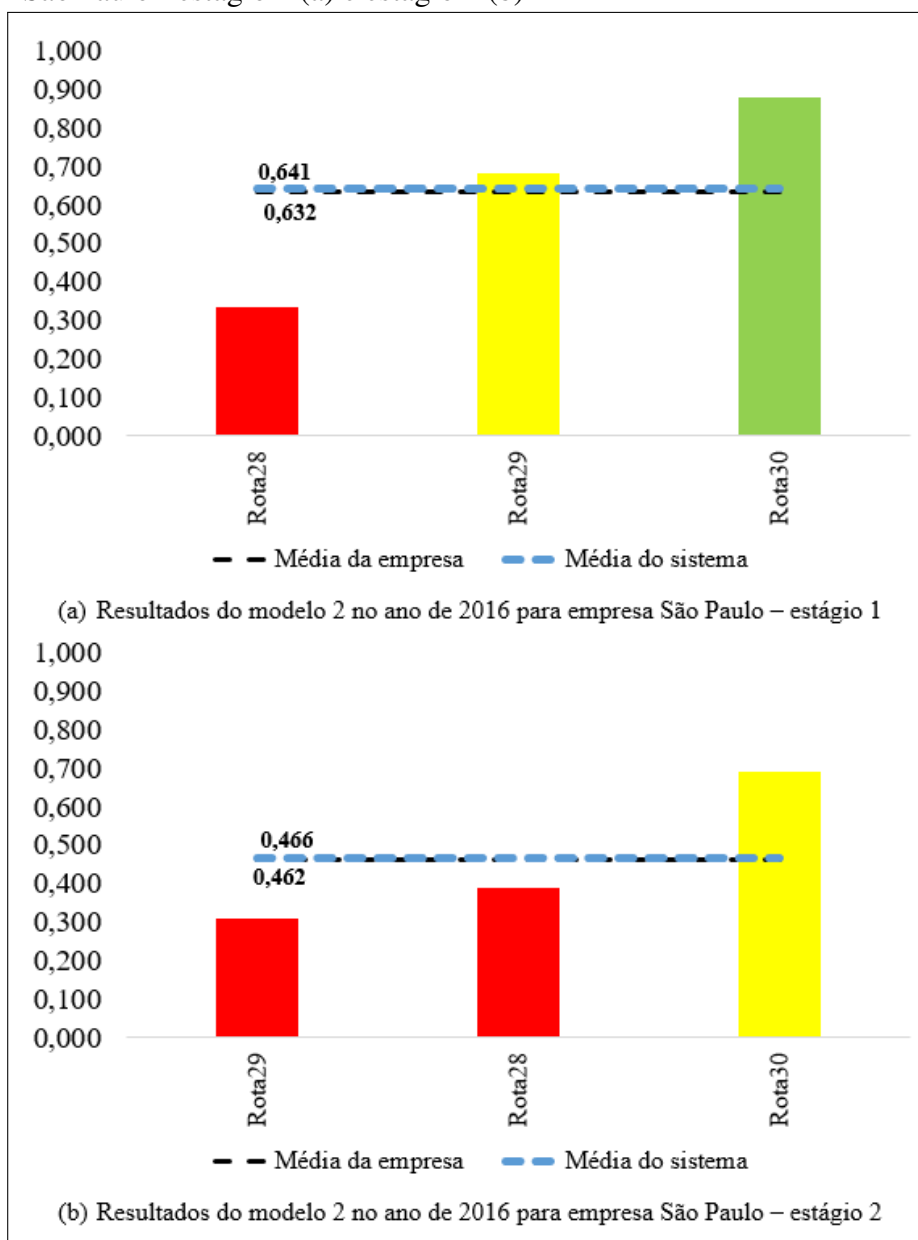
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Figura 76 – Resultados do modelo 1 no ano de 2016 por rotas das empresas Fretcar (a) e São Paulo (b)



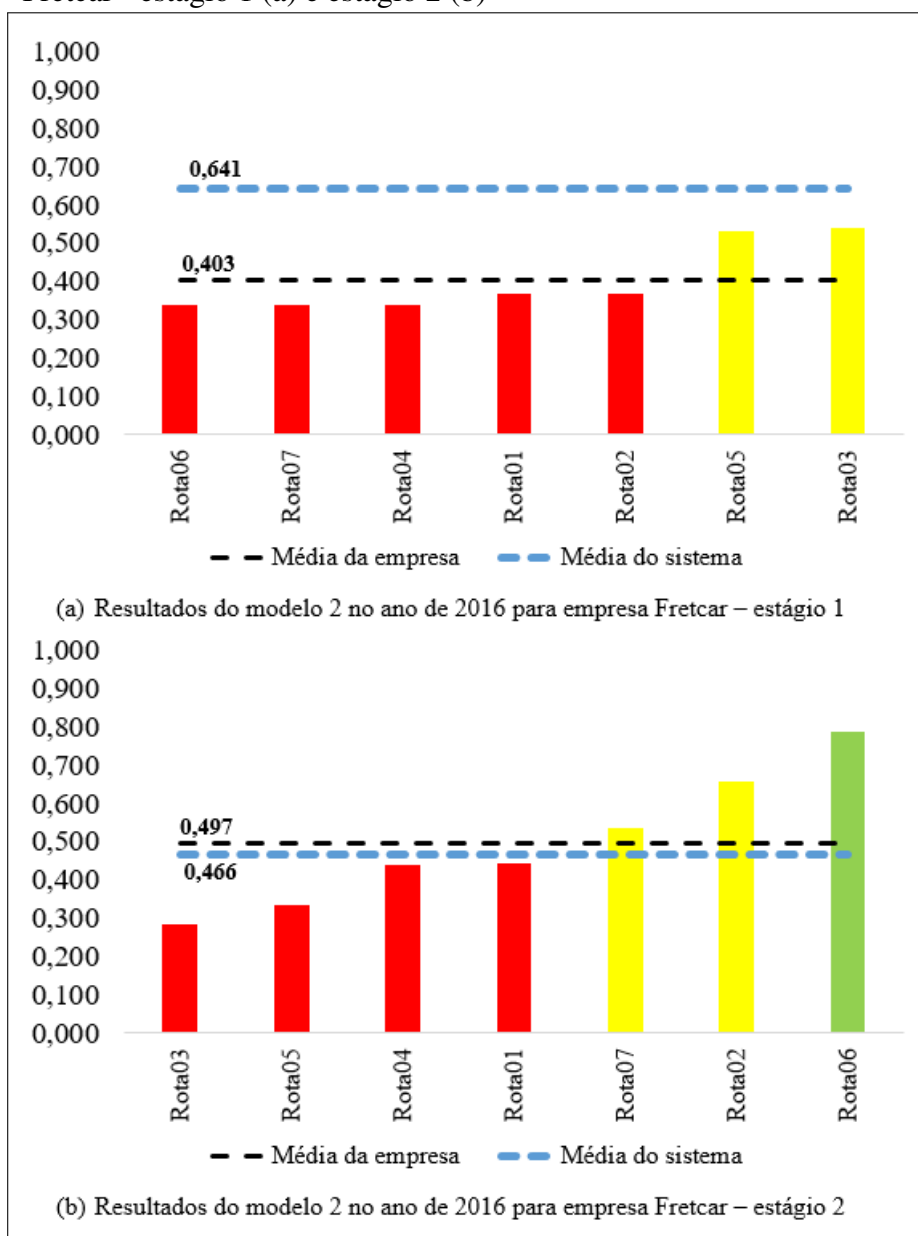
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Figura 77 – Resultados do modelo 2 no ano de 2016 por rotas da empresa São Paulo - estágio 1 (a) e estágio 2 (b)



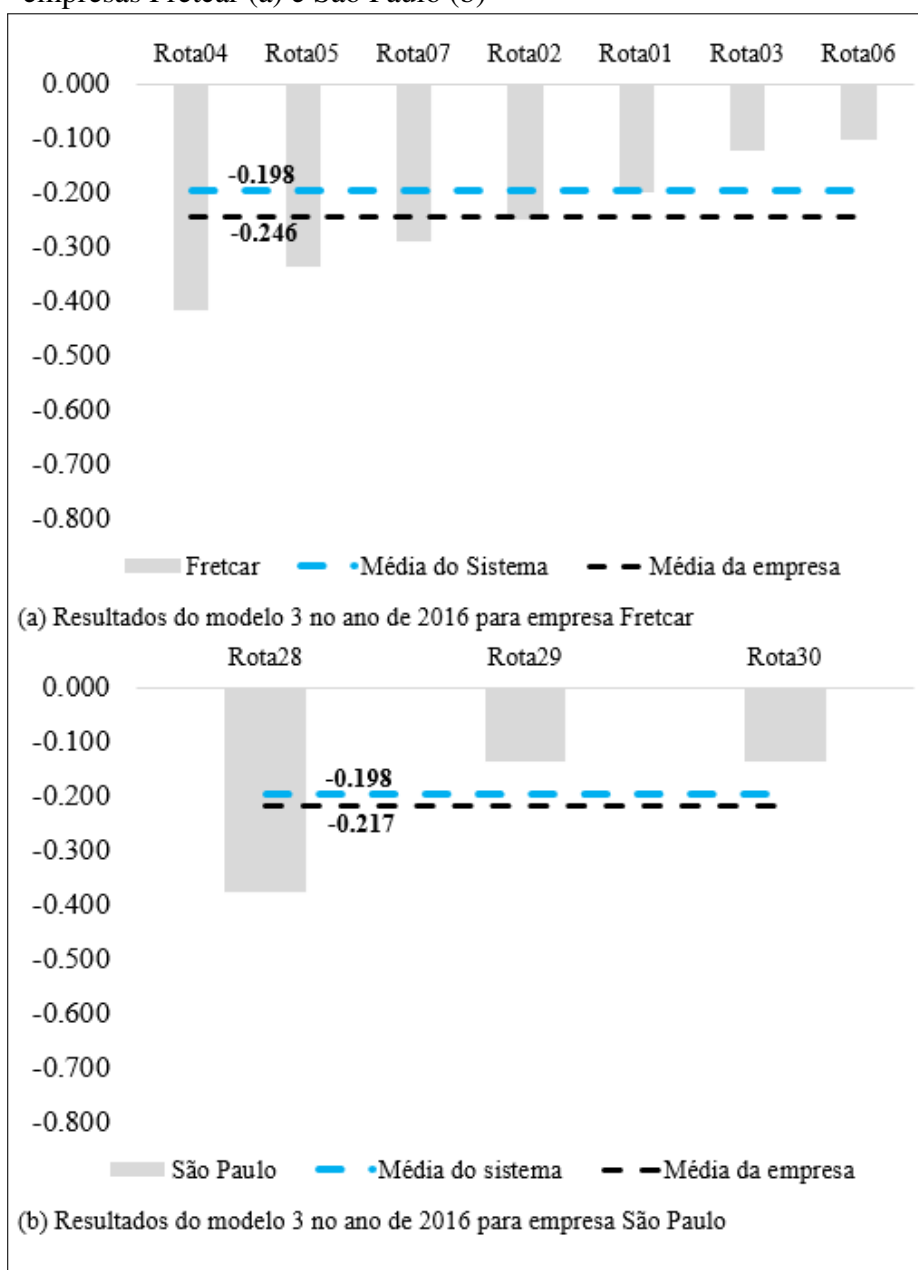
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Figura 78 – Resultados do modelo 2 no ano de 2016 por rotas da empresa Fretcar - estágio 1 (a) e estágio 2 (b)



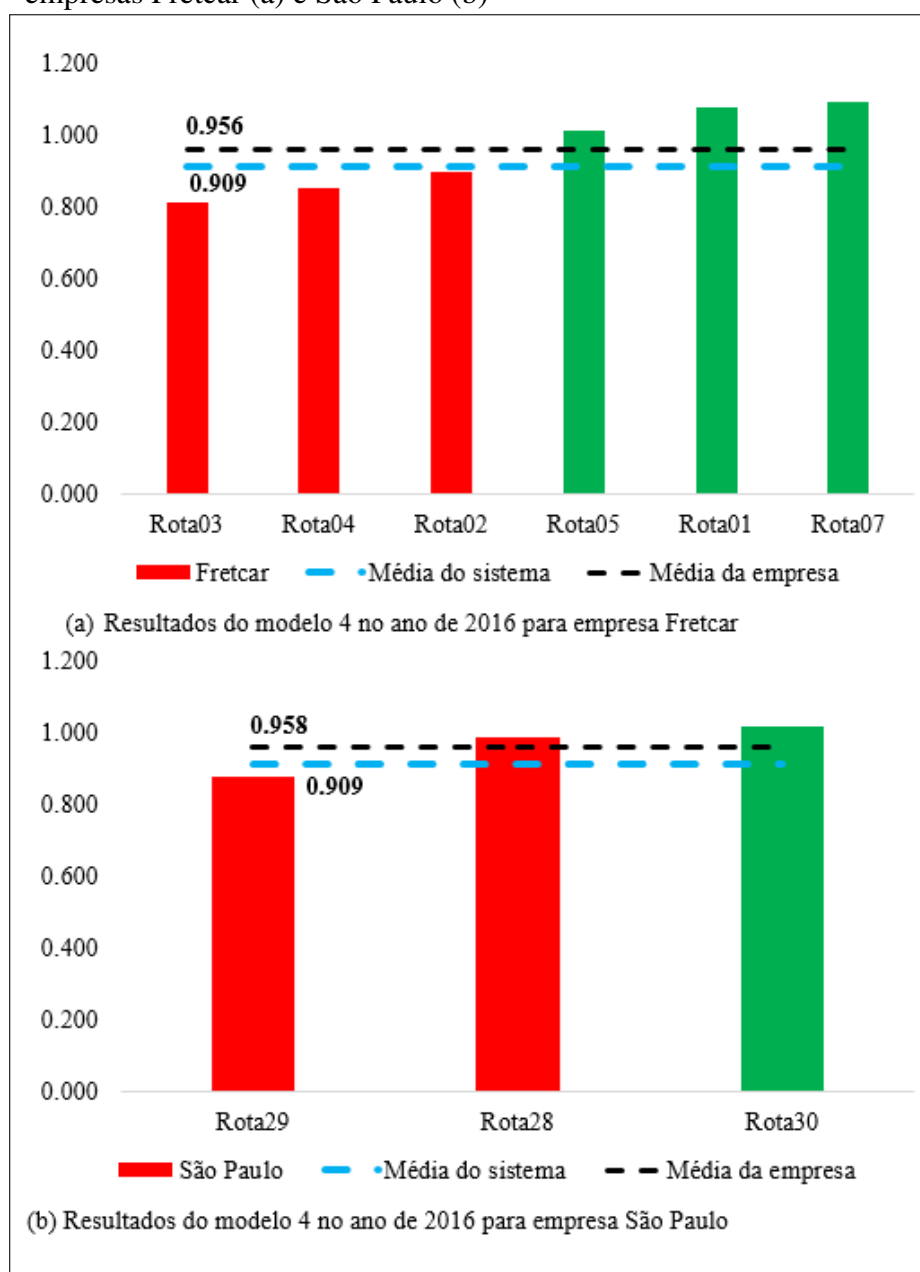
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Figura 79 – Resultados do modelo 3 no ano de 2016 por rotas das empresas Fretcar (a) e São Paulo (b)



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

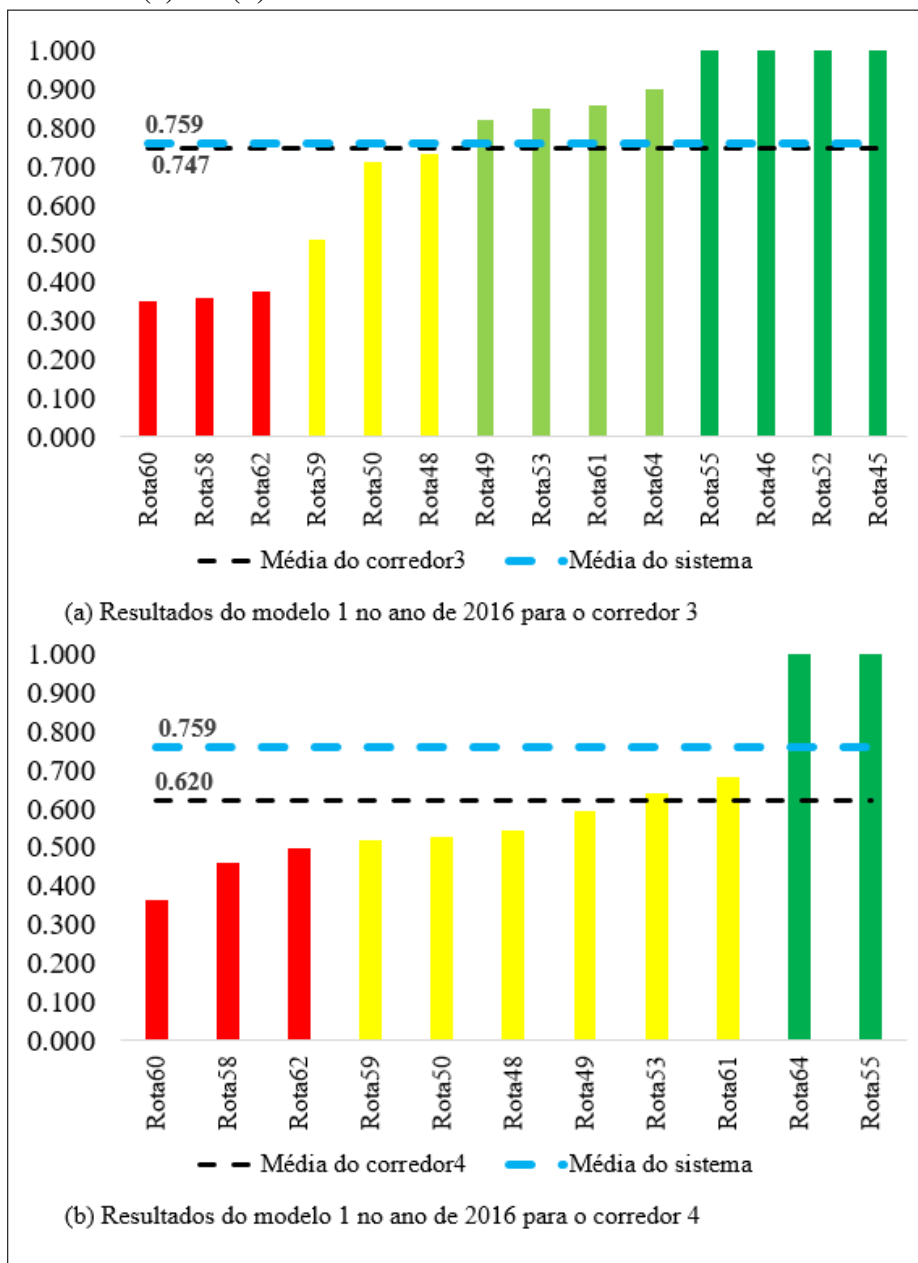
Figura 80 – Resultados do modelo 4 no período 2016/2017 por rotas das empresas Fretcar (a) e São Paulo (b)



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

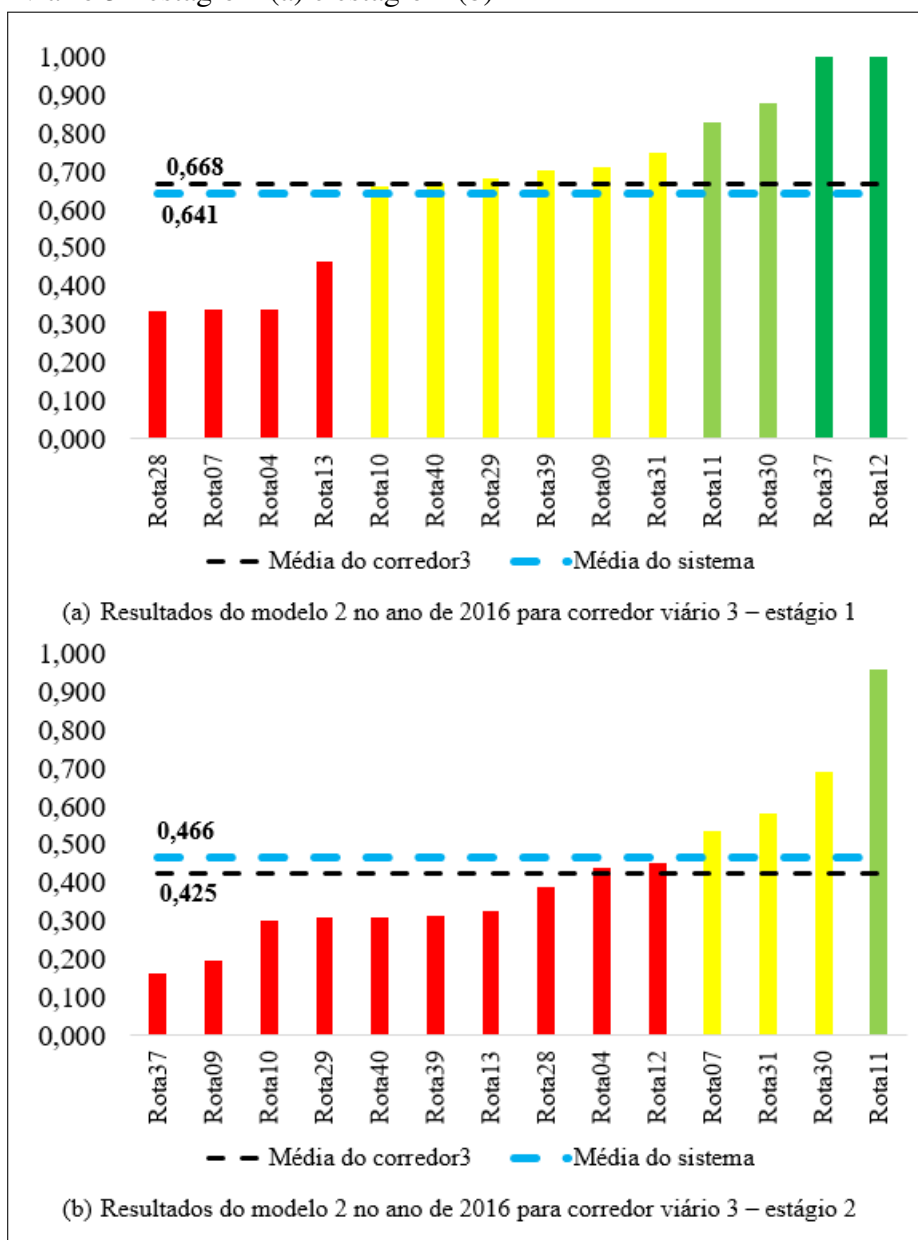
APÊNDICE F – GRÁFICO DOS RESULTADOS POR CORREDOR VIÁRIO

Figura 81 – Resultados do modelo 1 no ano de 2016 para os corredores viários 3 (a) e 4 (b)



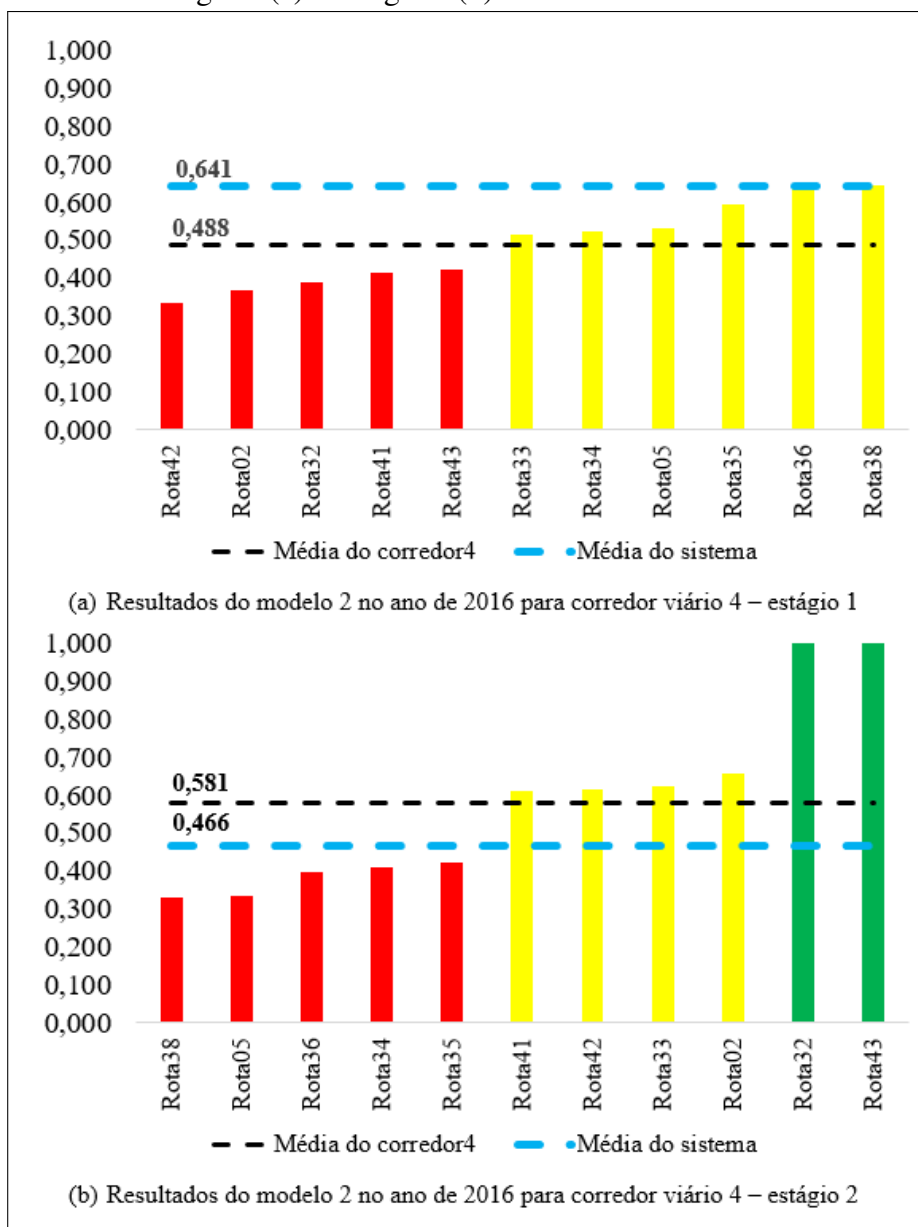
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Figura 82 – Resultados do modelo 2 no ano de 2016 para o corredor viário 3 - estágio 1 (a) e estágio 2 (b)



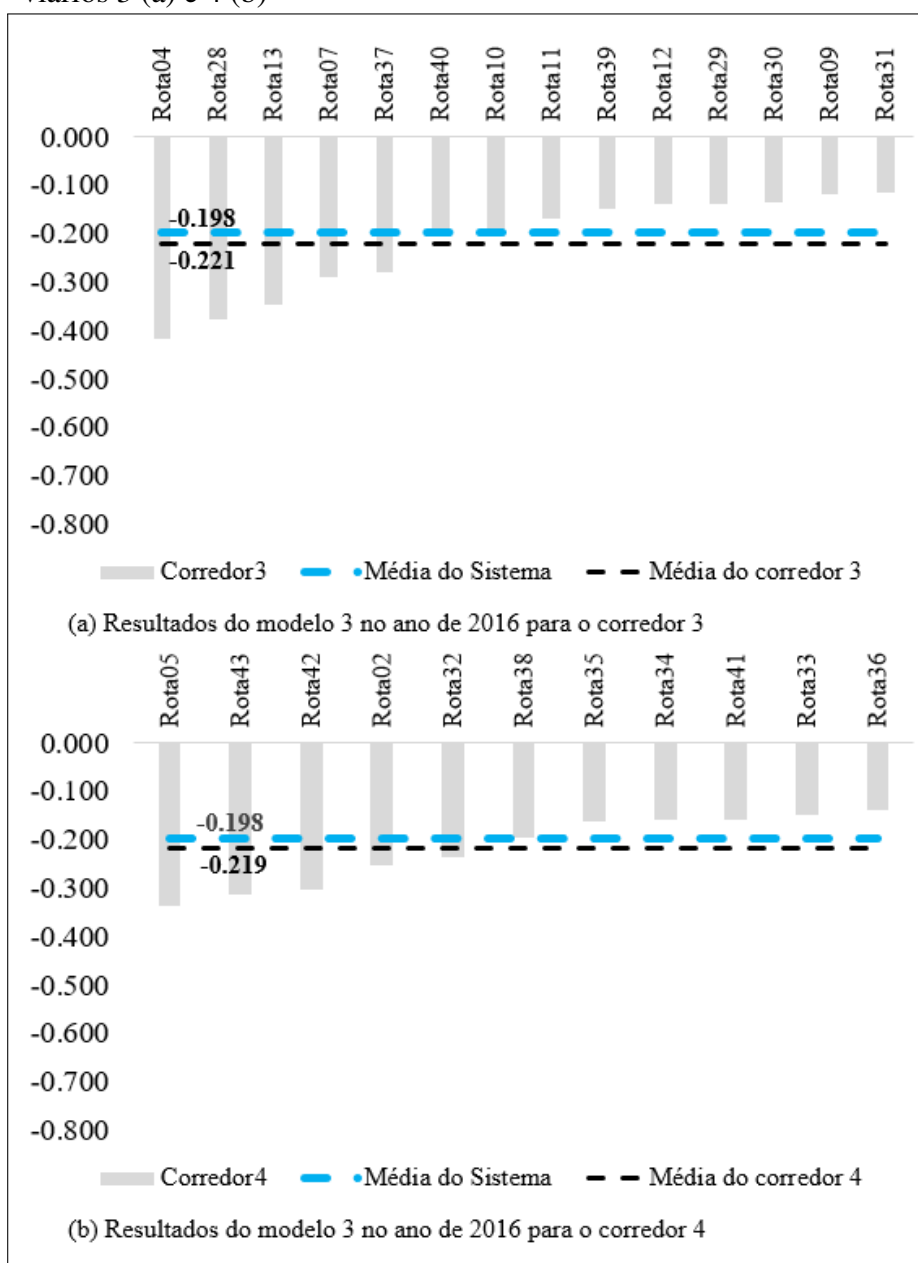
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Figura 83 – Resultados do modelo 2 no ano de 2016 para o corredor viário 4 - estágio 1 (a) e estágio 2 (b)



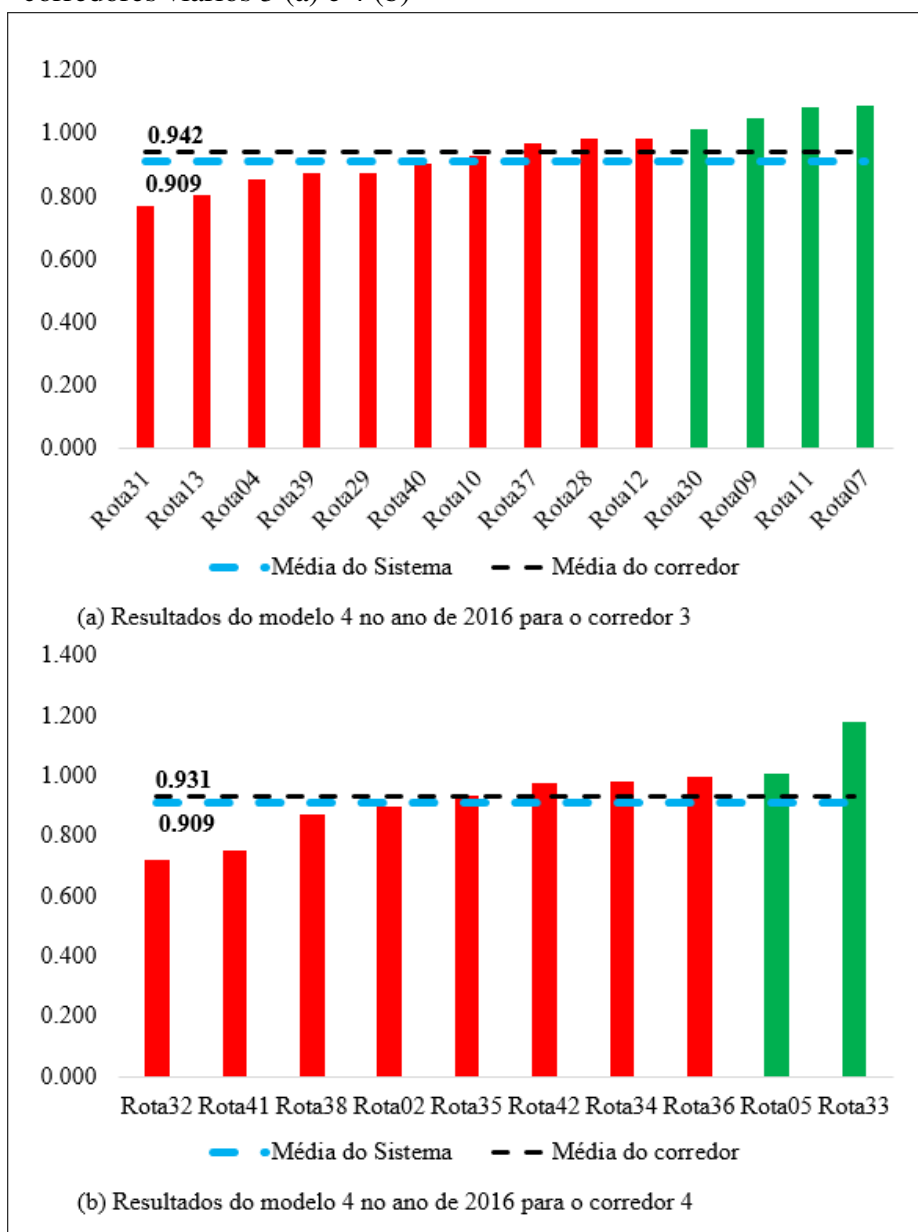
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Figura 84 – Resultados do modelo 3 no ano de 2016 para os corredores viários 3 (a) e 4 (b)



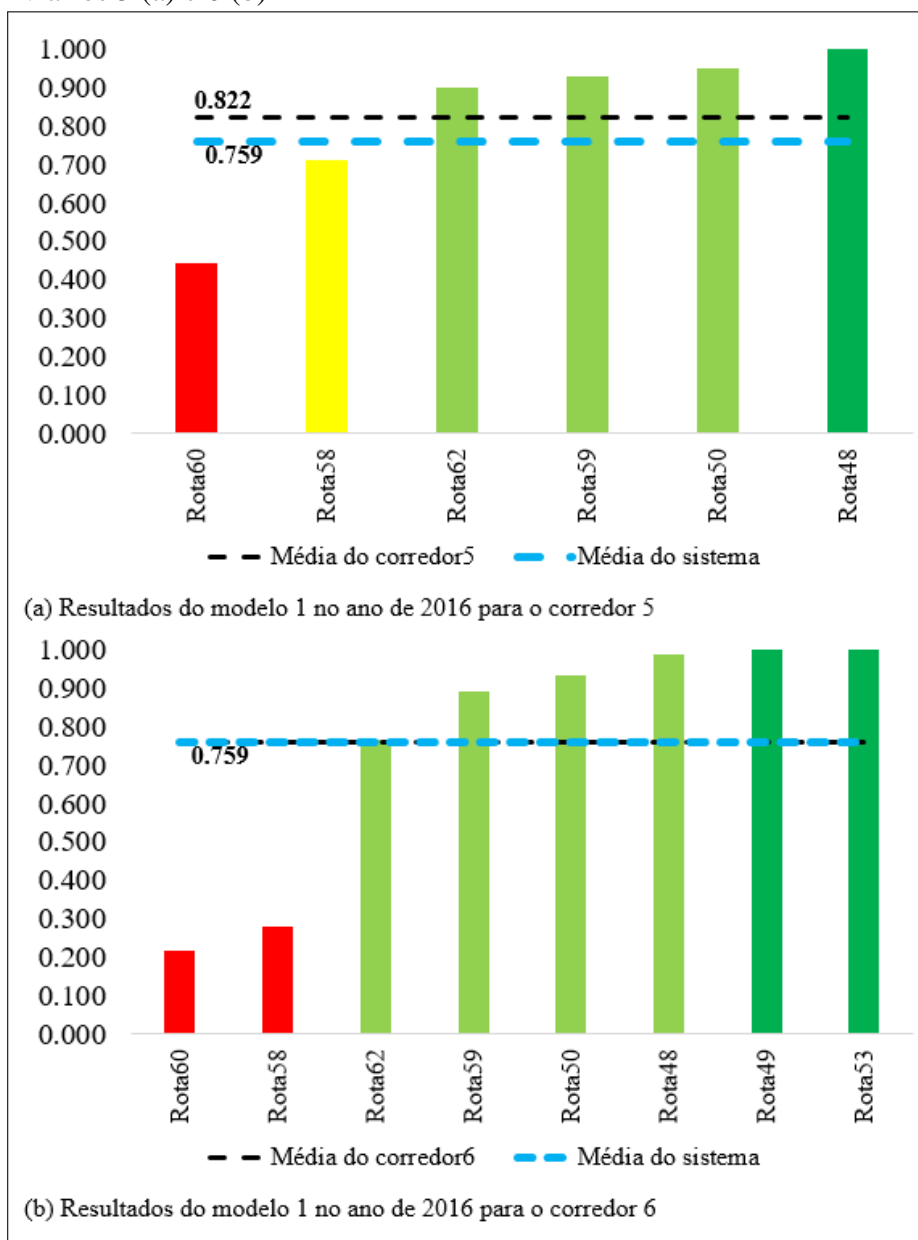
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Figura 85 – Resultados do modelo 4 no período 2016/2017 para os corredores viários 3 (a) e 4 (b)



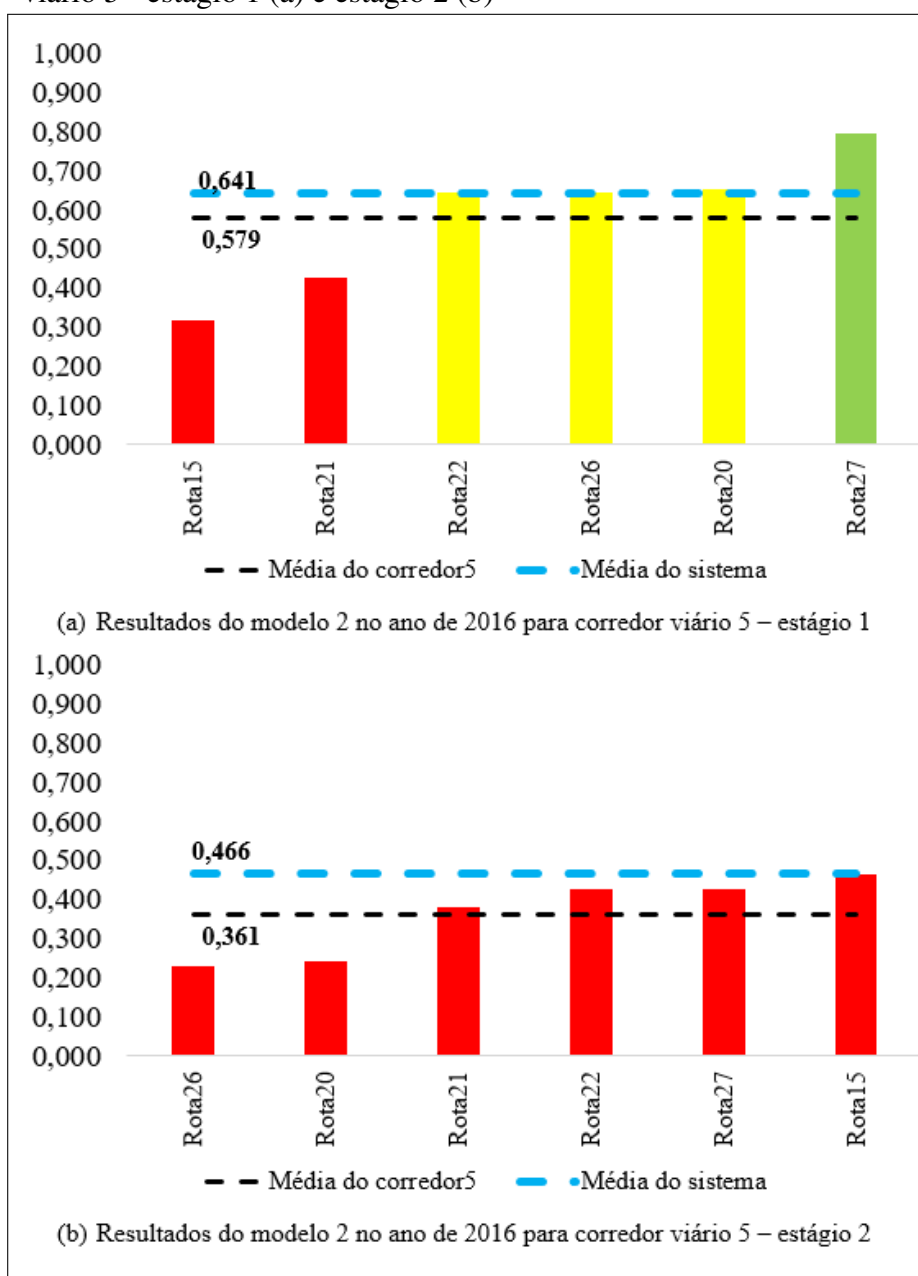
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Figura 86 – Resultados do modelo 1 no ano de 2016 para os corredores viários 5 (a) e 6 (b)



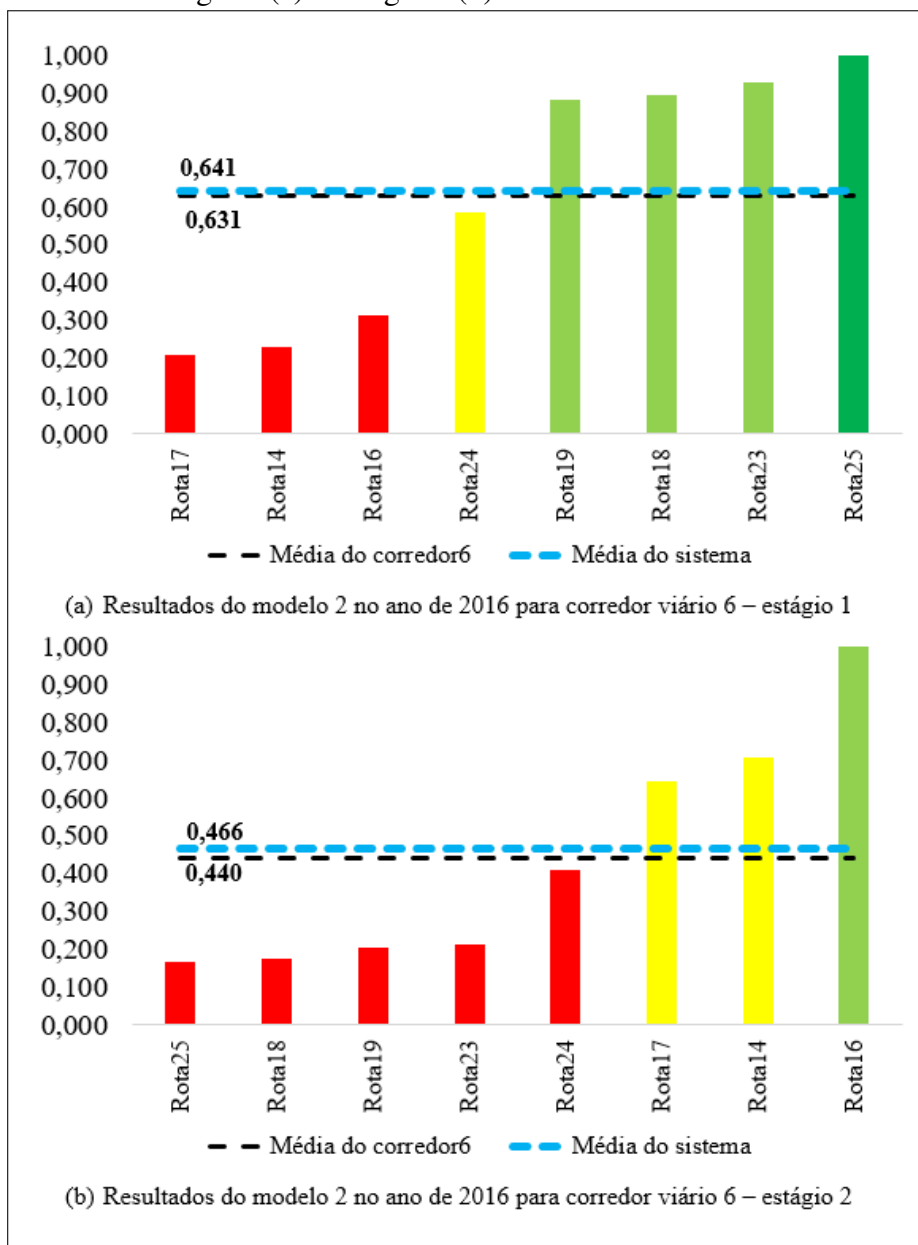
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Figura 87 – Resultados do modelo 2 no ano de 2016 para o corredor viário 5 - estágio 1 (a) e estágio 2 (b)



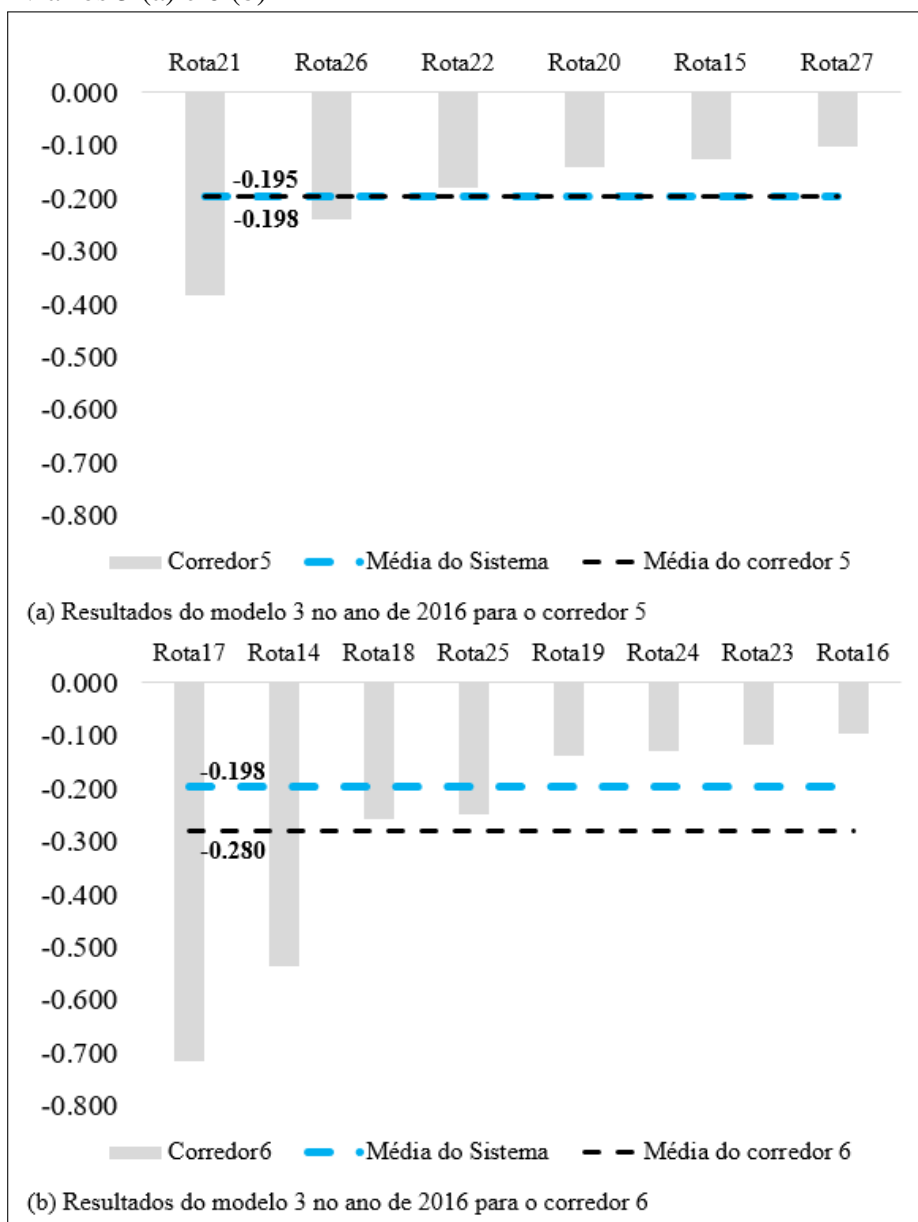
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Figura 88 – Resultados do modelo 2 no ano de 2016 para o corredor viário 6 - estágio 1 (a) e estágio 2 (b)



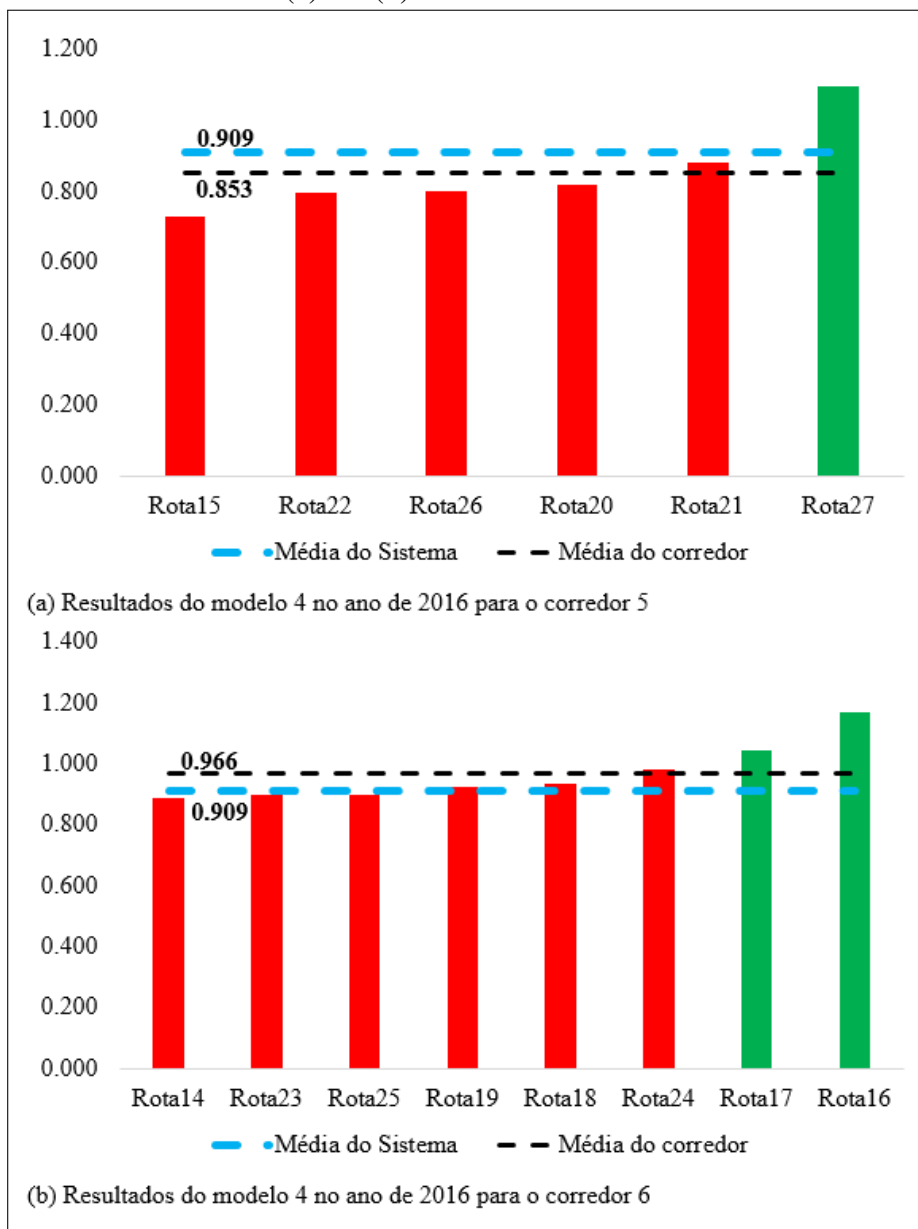
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Figura 89 – Resultados do modelo 3 no ano de 2016 para os corredores viários 5 (a) e 6 (b)



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

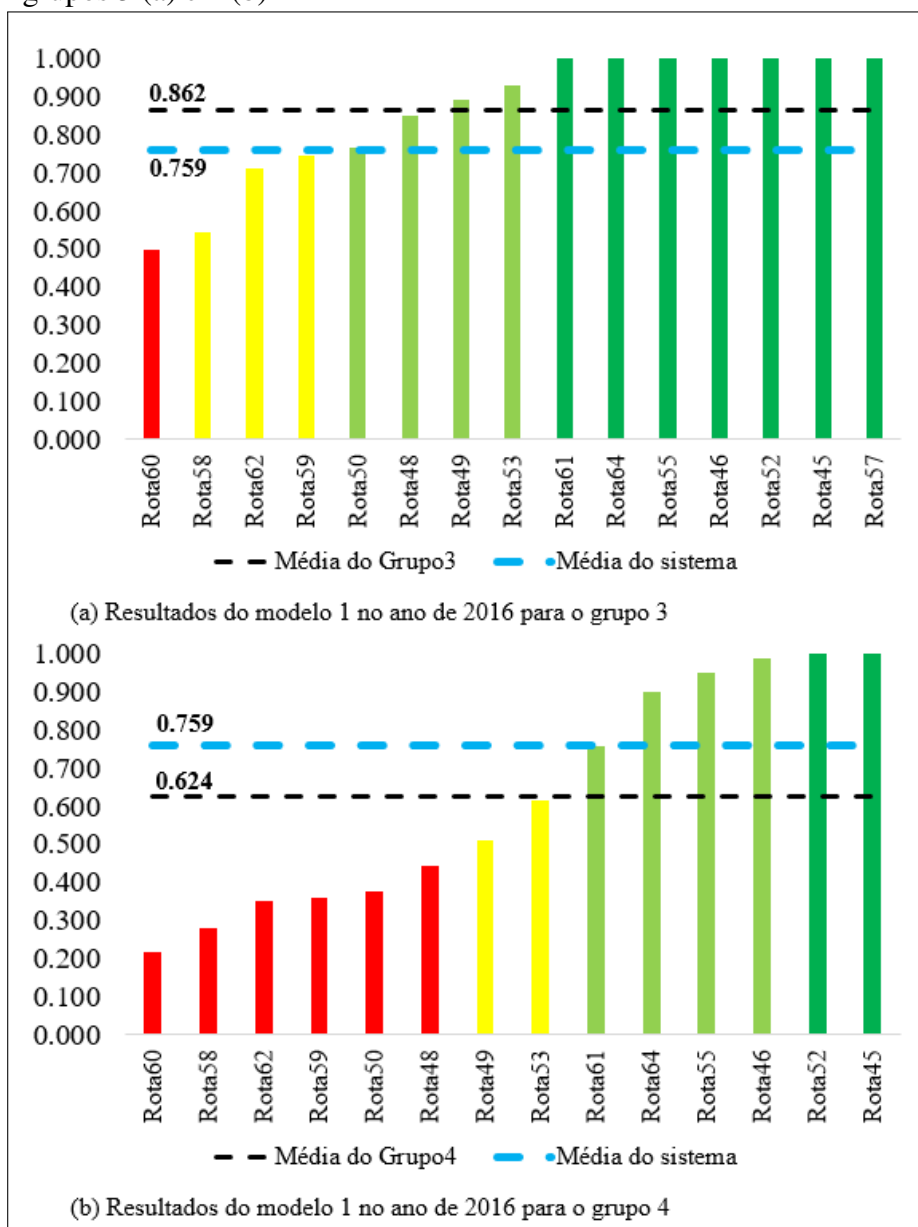
Figura 90 – Resultados do modelo 4 no período 2016/2017 para os corredores viários 5 (a) e 6 (b)



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

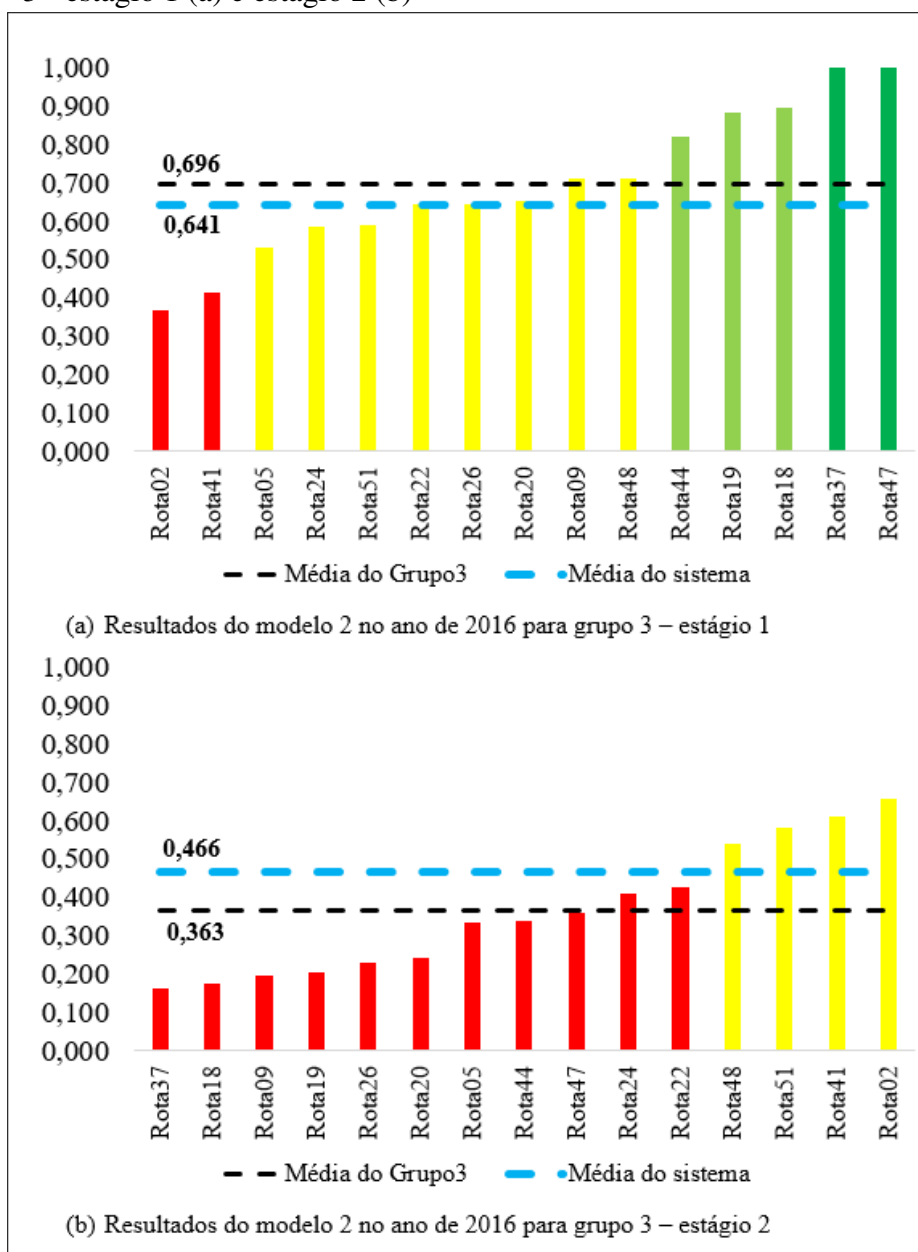
APÊNDICE G – GRÁFICO DOS RESULTADOS POR GRUPO DE EXTENSÃO DA ROTA

Figura 91 – Resultados do modelo 1 no ano de 2016 para rotas dos grupos 3 (a) e 4 (b)



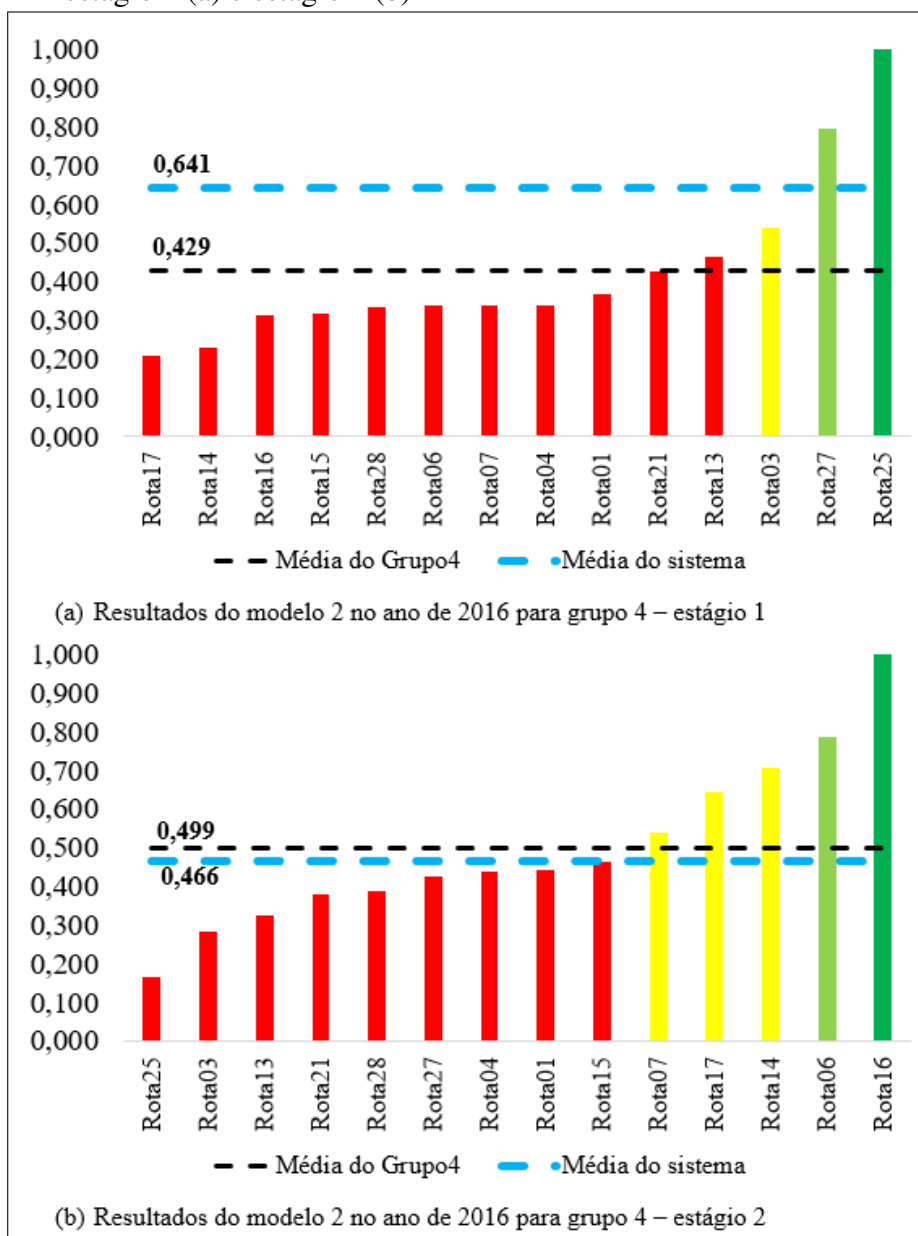
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Figura 92 – Resultados do modelo 2 no ano de 2016 para rotas do grupo 3 - estágio 1 (a) e estágio 2 (b)



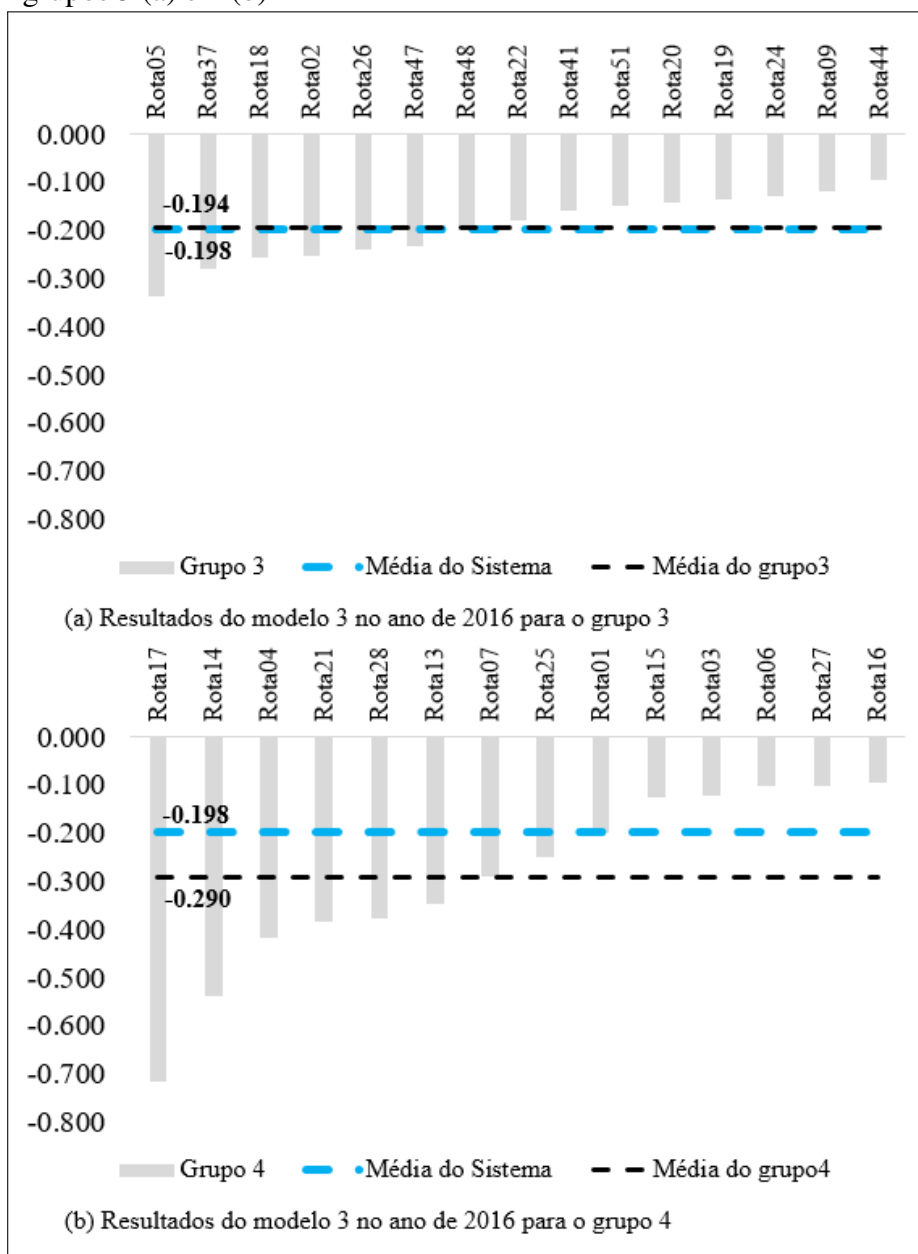
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Figura 93 – resultados do modelo 2 no ano de 2016 para rotas do grupo 4 - estágio 1 (a) e estágio 2 (b)



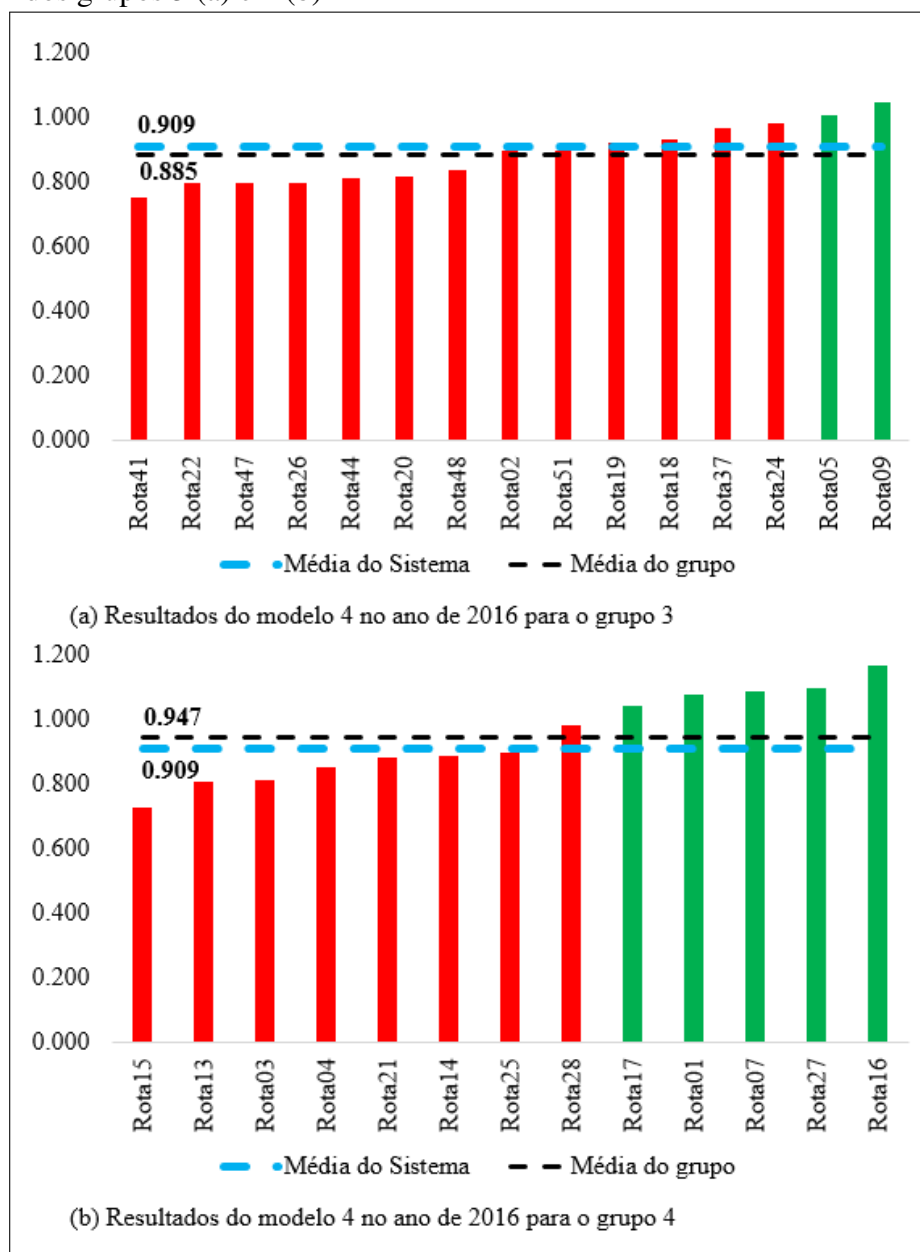
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Figura 94 – Resultados do modelo 3 no ano de 2016 para rotas dos grupos 3 (a) e 4 (b)



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Figura 95 – Resultados do modelo 4 no período 2016/2017 para rotas dos grupos 3 (a) e 4 (b)



Fonte: elaborado pelo autor (2023).