

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
ENGENHARIA DE TRANSPORTES

BIANCA GONÇALVES LARA

**PROPOSTA DE UM SERVIÇO DE TRANSPORTE SOB DEMANDA PARA
QUALIFICAR OS DESLOCAMENTOS DA ÚLTIMA MILHA DO TRANSPORTE
COLETIVO: ESTUDO DE CASO DO MUNICÍPIO DE SARZEDO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

BELO HORIZONTE
2021

BIANCA GONÇALVES LARA

**PROPOSTA DE UM SERVIÇO DE TRANSPORTE SOB DEMANDA PARA
QUALIFICAR OS DESLOCAMENTOS DA ÚLTIMA MILHA DO TRANSPORTE
COLETIVO: ESTUDO DE CASO DO MUNICÍPIO DE SARZEDO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Graduação em Engenharia de Transportes do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Renato Guimarães
Ribeiro

BELO HORIZONTE
2021



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

ANEXO IV - ATA DE DEFESA

“Proposta de um serviço de Transporte Sob Demanda para qualificar os deslocamentos da última milha do transporte coletivo: Estudo de caso do Município de Sarzedo”

Bianca Gonçalves Lara

Trabalho de conclusão de curso submetido à Comissão Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Graduação em Engenharia de Transportes, **APROVADA** como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Transportes.

Prof. Dr. Renato Guimarães Ribeiro
ORIENTADOR

Prof. Me. André Leite Guerra

Prof. Dr. Guilherme de Castro Leiva



Emitido em 16/09/2021

ATA Nº 8/2021 - CETR (11.51.07)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 17/09/2021 09:51)

ANDRE LEITE GUERRA

PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO

DET (11.55.11)

Matrícula: 3081703

(Assinado digitalmente em 17/09/2021 10:00)

GUILHERME DE CASTRO LEIVA

PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO

CETR (11.51.07)

Matrícula: 2615426

(Assinado digitalmente em 17/09/2021 10:55)

RENATO GUIMARAES RIBEIRO

PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO

DET (11.55.11)

Matrícula: 1523341

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sig.cefetmg.br/documentos/> informando seu número:
8, ano: **2021**, tipo: **ATA**, data de emissão: **16/09/2021** e o código de verificação: **d6dc13a090**

Este trabalho é dedicado os meus pais, Marcus e Adriana, por serem a minha base e me darem todo o suporte para chegar até aqui; ao meu amado esposo, Mateus, pelo incansável companheirismo, amor, e compreensão nestes anos de esforço; e ao meu irmão, Filipe, que é minha motivação diária para ser uma pessoa melhor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais por todo amor, carinho, dedicação e investimento na minha formação pessoal e acadêmica. Vocês são as minhas maiores fontes de inspiração. Ao meu irmão Filipe Antônio, por me ensinar o significado de amar sem limites. Aos meus avós e tias amadas, em especial, a minha tia querida Cristiane.

Ao meu estimado orientador, Professor Renato Guimarães Ribeiro, obrigada por aceitar me orientar, por guiar este trabalho, por toda paciência e dedicação nesta trajetória. Me sinto extremamente privilegiada por ter a minha maior fonte de admiração profissional como orientador desse trabalho.

Aquele clichê “da faculdade para vida” não poderia ter sido mais especial, fui presenteada com amizades incríveis que pretendo ter para sempre ao meu lado: Kimberly, Daphane, Danayla e Mirian obrigada pela amizade de vocês. E a todos os meus colegas da primeira turma de engenharia de transportes do CEFET-MG.

Entre os presentes que a faculdade me deu está o Professor André Leite Guerra, obrigada por todas as vezes que você me ajudou, são incontáveis. Você é um profissional incrível, e uma das pessoas mais generosas que já tive a oportunidade de conhecer.

Aos professores do Departamento de Engenharia de Transportes pela contribuição na minha formação acadêmica.

Ao meu parceiro de vida e grande amor Mateus, obrigada por estar ao meu lado desde antes de eu saber para qual curso prestaria vestibular. Por sempre estar aqui por mim, por ser parceiro e compressivo nos momentos em que precisei me dedicar aos estudos, eu te amo.

A minha querida “cãopanheira”: Amora, que esteve ao meu lado em cada momento desta escrita.

Me sinto extremamente grata a todos profissionais que tive a oportunidade de trabalhar durante o meu período de formação, obrigada por cada ensinamento e conselhos.

E por fim, agradeço a instituição de ensino CEFET-MG, pelo curso de qualidade e todo suporte.

RESUMO

LARA, B. G. Proposta de um serviço de Transporte Sob Demanda para qualificar os deslocamentos da última milha do transporte coletivo: Estudo de caso do Município de Sarzedo. 2021. 102 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia de Transportes. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2021.

Parte da solução dos problemas associados à mobilidade urbana passa pelo incentivo ao uso do transporte coletivo, mas para isto ele precisa oferecer segurança, eficiência e precisão aos usuários. Um dos principais percalços enfrentados pelo transporte público é fornecer uma ligação entre as regiões com menor densidade populacional das cidades, onde ele atua com baixa frequência e elevados custos: a última milha da viagem. Num contexto em que o transporte público coletivo de passageiros vem perdendo demanda, surgem os sistemas de transporte sob demanda, os mais conhecidos atualmente são direcionados para o transporte individual e, apesar de trazerem diversas facilidades aos passageiros, esses sistemas acabam retirando demanda do transporte público coletivo de passageiros. Porém o transporte sob demanda pode atuar como aliado ao transporte público, desde que seja usado de forma complementar ao serviço estruturante das cidades ou ainda como substituto desse sistema regular em áreas e horários de baixa demanda. Dessa forma têm o potencial de atrair novos usuários para o transporte público coletivo de passageiros e, ainda, de resgatar aqueles que são desatendidos. Sendo assim, visando ampliar o potencial do transporte coletivo urbano de atrair usuários, no intuito de comedir os problemas de mobilidade urbana, o presente trabalho abordará a utilização do transporte público sob demanda para qualificar os deslocamentos de última milha do Terminal Metropolitano de Sarzedo. Para isso, foi proposto um modelo de roteirização e foi gerada uma rede sob demanda que se mostrou viável de acordo com os parâmetros técnicos estabelecidos.

Palavras-chave: Transporte público sob demanda. Última milha. Rede Tronco-Alimentadas. Roteirização. Redução da demanda de passageiros.

ABSTRACT

LARA, B.G. Proposal of a Transport on Demand service to qualify the displacements of the last mile of public transport: Case Study of the Municipality of Sarzedo. 2021. 102 p. Final Paper (Graduate) – Transport Engineering. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) 2021.

Part of the solution to these problems associated with urban mobility involves encouraging the use of public transport, but for this it needs to offer safety, efficiency and precision to users. One of the main problems faced by public transport is providing a connection between the less densely populated regions of cities, where it operates with low frequency and high costs: trip's last mile. In a context in which public passenger transport has been losing demand, on-demand transport systems emerge, the best known currently being directed to individual transport and, despite bringing several facilities to passengers, these systems end up removing demand from public transport passenger collective. However, it can act as an ally using public transport on demand, as long as it is used in a complementary way to the structuring service of public transport in cities or even as a substitute for this regular system in areas and schedules of low demand, thus having the potential to attract new users to public transport and also to rescue those who feel neglected. Therefore, aiming to expand the potential of urban public transport to attract users, in order to mitigate the problems of urban mobility, this paper will address the use of public transport on demand to qualify last mile journeys from the Metropolitan Terminal of Sarzedo. For this, a routing model was proposed and an on-demand network was generated that proved to be viable according to the established technical parameters.

Keywords: On-Demand Public Transport. Last mile. Powered Trunk-Powered Network. Trunk-powered network. Scripting. Reduction in passenger demand.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Corredor e linha troncal.	24
Figura 2: Rede de transporte radial.	25
Figura 3: Rede em Grelha.	26
Figura 4: Rede Radial com Linhas Tronco-Alimentadas.	27
Figura 5: Mapa de Sarzedo - MG.	36
Figura 6: Evolução da população e da proporção da população urbana- Ibirité e Sarzedo.	37
Figura 7: Distribuição das viagens externas de Sarzedo/Mário Campos – modos coletivo e individual.	38
Figura 8: Linhas metropolitanas que atendem o município de Sarzedo. ...	39
Figura 9: Distribuição horária da demanda de passageiros das linhas troncais e alimentadoras	40
Figura 10: Distribuição horária da oferta de viagens das linhas troncais e alimentadoras.	41
Figura 11: Gráficos de variação: headway, passageiros/viagem e quantidade de viagens	44
Figura 12: Fluxograma metodológico.	47
Figura 13: Janela "Geral" do modelo <i>Vehicle Routing</i>	50
Figura 14: Tabela de atributos base viária.	54
Figura 15: Tabela de atributos <i>route system</i>	54
Figura 16: Pesquisa Origem e destino Sarzedo 2018.	55
Figura 17: Matriz OD de Sarzedo 2018.	56
Figura 18: Pontos de origem e destino.	58
Figura 19: Oferta de viagens das alimentadoras e locais de desembarque dos passageiros.	59
Figura 20: Produção de viagens 20h-00h.	61
Figura 21: Atração de viagens 20h-00h.	62
Figura 22: Linhas de desejo 20h-00h.	63
Figura 23: Rede e alimentadoras.	66
Figura 24: Janela inicial do modelo <i>Vehicle Routing</i>	71
Figura 25: Janela do modelo <i>Vehicle Routing</i> , seleção do terminal.	72
Figura 26: Janela do modelo <i>Vehicle Routing</i> , seleção do veículo.	73

Figura 27: Janela do modelo <i>Vehicle Routing</i> , seleção dos <i>Stops</i>	74
Figura 28: Janela do modelo <i>Vehicle Routing</i> , criação da matriz.....	75
Figura 29: Rotas das 20 horas.	76
Figura 30: Rotas das 20:30 horas.	78
Figura 31: Rotas das 21:00 horas.	79
Figura 32: Rotas das 21:30 horas.	81
Figura 33: Rotas das 22:00 horas.	82
Figura 34: Rotas das 22:30 horas.	83
Figura 35: Rotas das 23:00 horas.	84
Figura 36: Rota das 23:30 horas.	85
Figura 37: Rotas das 00:00 horas.	86
Figura 38: Rota das 00:00 horas.	87
Figura 39: Quadro comparativo entre os sistemas.	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados operacionais por linha e período, linhas alimentadoras.	42
Tabela 2: Dados operacionais por linha e período, linhas troncais.	43
Tabela 3: Tipo de deslocamentos.....	60
Tabela 4: Oferta das linhas alimentadoras.	64
Tabela 5: Tempos de viagem.	65
Tabela 6: Extensão das linhas alimentadoras.	65
Tabela 7: Indicadores operacionais.....	67
Tabela 8: Veículos em operação de 20 às 00.	67
Tabela 9: Capacidade ofertada na rede.	68
Tabela 10: Headway das linhas.....	68
Tabela 11: Indicadores operacionais: cenário com vans.....	69
Tabela 12: Percentual de aumento dos indicadores.....	69
Tabela 13: Resumo dados das rotas das 20 horas.	77
Tabela 14: Resumo dados das rotas das 20:30 horas.	79
Tabela 15: Resumo dados das rotas das 21:00 horas.	80
Tabela 16: Resumo dados das rotas das 21:30 horas.	81
Tabela 17: Resumo dados das rotas das 22:00 horas.	83
Tabela 18: Resumo dados das rotas das 22:30 horas.	84
Tabela 19: Resumo dados das rotas das 23:00 horas.	85
Tabela 20: Dados operacionais rota das 23:30 horas.	86
Tabela 21: Resumo dados das rotas das 00:00 horas.	87
Tabela 22: Dados operacionais rota das 00:30 horas.	88
Tabela 23: Indicadores operacionais.....	88
Tabela 24: Capacidade ofertada na rede.	89
Tabela 25: Fatores de emissão.	91

LISTA DE ABREVIATURAS

ANTP – Agência Nacional de Transportes Públicos

RMBH – Região Metropolitana de Belo Horizonte

ITDP – Instituto de Políticas e Transporte e Desenvolvimento.

OD – Origem e Destino

SETOP – Secretária de Estado de Transportes e Obras Públicas de Minas Gerais

SGTM – Sistema de Gerenciamento do Transporte Metropolitano

TPCU – Transporte público coletivo Urbano

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	Contextualização e objetivo geral do trabalho	17
1.2	Justificativa e relevância	18
1.3	Estrutura do trabalho	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1	Mobilidade compartilhada	20
2.2	Transporte público coletivo de passageiros urbano	22
2.2.1	Redes urbanas do tipo radial com linhas Tronco-Alimentadas	24
2.2.2	Sistemas integrados de transportes.....	27
2.2.3	Nível de serviço do transporte público	28
2.3	Transporte Sob Demanda.....	28
2.3.1	Transporte público sob demanda.....	29
2.3.2	Problema da última milha e o transporte sob demanda como uma possível solução	31
2.3.3	Alimentadoras como um problema de transporte sob demanda.....	32
2.3.4	Impactos no transporte coletivo causados pelos serviços sob demanda..	33
2.4	Características de sistemas que operam no transporte público sob demanda	34
•	Baixa demanda	34
•	Curtas distâncias	35
•	Flutuação da demanda	35
3	ÁREA DE ESTUDO	36
3.1	Caracterização geral	36
3.2	Histórico de ocupação	36
3.3	Aspectos gerais da mobilidade	38

3.4	Caracterização operacional do sistema de transporte	39
4	METODOLOGIA	46
4.1	Análise do comportamento da demanda.....	47
4.2	Montagem da rede de transporte	48
4.3	Rede atual.....	48
4.4	Rede proposta	48
4.4.1	Roteirização	49
4.4.2	Cálculo dos indicadores operacionais.....	51
4.5	Modelo de avaliação da viabilidade	51
5	ESTUDO DE CASO.....	52
5.1	Avaliação do comportamento da demanda.....	52
5.2	Montagem da rede de transporte	53
5.2.1	Matriz Origem e Destino	55
5.2.2	Tratamento da Matriz Origem e Destino	56
5.2.3	Carregamento da rede	58
5.3	Rede atual.....	63
5.3.1	Levantamento e tratamento de dados atuais	64
5.3.2	Cálculo dos indicadores operacionais.....	66
5.3.3	Síntese dos resultados.....	69
5.4	REDE PROPOSTA	70
5.4.1	Roteirização	70
5.4.2	Cálculo dos indicadores operacionais.....	88
5.4.3	Síntese dos resultados.....	89
6	MODELO DE AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE	90
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	92
8	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	94
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95

1 INTRODUÇÃO

Os serviços tradicionais de transporte público coletivo de passageiros não oferecem flexibilidade aos usuários que precisam adequar-se à rede e oferta existente (CUEVAS et al, 2016). Em comparação a outros meios de transporte, esses serviços geralmente apresentam horários fixos, baixa frequência e tempo de viagem elevado, o que favorece a migração dos usuários para o transporte individual. Atrelado a isso, estão a elevada tarifa e a superlotação nos horários de pico. Há, porém, grande ociosidade nos horários fora pico que acarretam desequilíbrio financeiro para os operadores, comprometendo a sustentabilidade do sistema.

O avanço tecnológico e a portabilidade trouxeram modificações profundas na forma de acesso e uso dos sistemas de transporte urbano. Sem, no entanto, serem acompanhados por um novo marco regulatório. Com essas mudanças surgiram meios mais dinâmicos de transportes urbanos, como: aplicativos de carona, aplicativos para os ciclistas, compartilhamento de veículos, mapas colaborativos, transporte individual solicitado por aplicativos (também chamados e-hailing) como é o caso das três grandes plataformas presentes no mercado brasileiro, citadas por Monteiro et al (2018): Uber, Cabify e 99. O sucesso desses sistemas se deve, em parte, ao fato de que eles são capazes de satisfazer os desejos de viagem que não vem sendo atendidos pelos sistemas convencionais de transporte público (ARCHETTI; SPERANZA; WEYLAND, 2017).

Um dos principais percalços enfrentados pelo transporte público coletivo urbano é fornecer uma ligação entre as regiões com menor densidade populacional das cidades, onde ele atua com baixa frequência e elevados custos. Do ponto de vista do operador, essas regiões promovem uma pequena, ou nula, margem de lucro, tornando economicamente inviável oferecer uma maior cobertura e uma frequência mais alta, o que ocasiona um transporte com baixa qualidade (ATASOY et al., 2015).

Para suprir essa desvantagem surge o conceito de transporte sob demanda, um serviço que visa melhorar os níveis de acessibilidade, mobilidade e sustentabilidade, oferecendo maior flexibilidade e melhor ajuste da oferta à demanda, sendo conveniente para a última milha e em áreas com baixa demanda ou que possuem passageiros com necessidades especiais (EGAN et al., 2018).

A última milha de uma viagem de transporte público é conhecida por trazer uma grande desutilidade para os passageiros, já que os modos de transporte convencionais para esta etapa da viagem podem, em muitos casos, ser bastante

lentos, inflexíveis e não proporcionar uma experiência perfeita para os passageiros (SCHELTES; CORREA, 2017).

Neste sentido, o transporte sob demanda aponta-se como uma modalidade de serviço com o potencial de resgatar os passageiros do transporte coletivo que passaram a utilizar outros modos, mitigar os problemas de mobilidade urbana enfrentados nos grandes centros urbanos, reduzir a emissão de poluentes e aprimorar a eficiência do transporte público.

Visando ampliar o potencial do transporte coletivo urbano de atrair usuários no intuito de comedir os problemas de mobilidade urbana, o presente trabalho abordará a utilização do transporte sob demanda para qualificar os deslocamentos de última milha de um Terminal Metropolitano de Ônibus, ou seja, melhorar o atendimento no horário noturno.

O estudo se baseará na viabilidade deste tipo de oferta no Terminal de Metropolitano de Sarzedo e para isso será proposto um modelo de roteirização, sendo os seus resultados avaliados.

1.1 Contextualização e objetivo geral do trabalho

Parte da solução dos problemas que englobam a mobilidade urbana – relacionados ao alto índice de motorização – envolve o incentivo ao uso do transporte coletivo. Portanto, é preciso fornecer melhorias nesse tipo de serviço, de forma a aumentar a sua atratividade para os usuários; o bom funcionamento de uma cidade depende de que os seus meios de transporte sejam integrados e eficientes.

Portanto, partindo do pressuposto de que a demanda flutua ao longo da semana nos horários noturnos de acordo com o comportamento do usuário, o objetivo geral desse trabalho é propor um serviço sob demanda para o atendimento noturno nas viagens do Terminal Metropolitano de Sarzedo município componente da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH).

Com isso, será verificada a viabilidade de implantação do transporte sob demanda, analisando os ganhos do usuário e do operador.

De forma específica, objetiva-se com este trabalho:

- Verificar se o sistema de alimentação do Terminal Metropolitano de Sarzedo possui características que viabilizem a operação do transporte público sob demanda, como parte da operação;
- Propor um modelo de roteirização para ofertar deste tipo de serviço;

- Verificar a viabilidade técnica.

1.2 Justificativa e relevância

As modificações nas estruturas das redes de transporte público coletivo de passageiros, decorrentes da implantação de sistemas tronco-alimentados, trazem consigo uma maior eficiência da rede, e diversos benefícios, como: redução do tempo de viagem, eliminação de viagens ociosas, redução do número de veículos e melhor circulação nos centros das cidades e nos corredores.

Por outro lado, esse tipo de rede traz consigo externalidades negativas. Geralmente, segundo Torres (2019) a deficiência dos sistemas tronco-alimentados está na falta de um sistema efetivo de transporte para realização da última milha que é o último trecho da viagem, onde nesses casos, geralmente, a demanda é fortuita e o tempo de viagem é incerto.

O transporte sob demanda surge como uma adaptação do serviço de transporte coletivo convencional de passageiros à demanda existente, com o propósito de reduzir ao máximo o tempo de viagem e os custos operacionais, substituindo os serviços de linhas regulares em percursos que elas são ineficientes para os passageiros e onerosas para os operadores.

Partindo da hipótese de que a utilização de modelos de transporte sob demanda, para atender a última milha da viagem seja mais eficiente, transfira menor tempo de espera aos usuários e seja menos oneroso que o modelo convencional de operação.

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho está estruturado em oito capítulos, sendo o primeiro este introdutório no qual são destacados a contextualização e objetivo geral, delimitação do tema e objetivos específicos e, por fim, a justificativa e relevância da pesquisa.

No segundo capítulo é feita uma revisão bibliográfica acerca dos principais temas tratados nesta monografia. O referido capítulo é dividido nos seguintes itens: mobilidade compartilhada, transporte público coletivo de passageiros e transporte sob demanda.

O terceiro capítulo faz uma breve descrição da área de estudo, abordando caracterização geral do município de Sarzedo, histórico de ocupação, aspectos gerais

de mobilidade e caracterização do sistema operacional de transporte que compõe o Terminal Metropolitano de Sarzedo.

O quarto capítulo apresenta a metodologia proposta, sendo dividido nos seguintes itens: montagem da rede de transporte, rede atual, rede proposta e modelo de avaliação de viabilidade.

No quinto capítulo é elaborado o estudo de caso do Terminal Metropolitano de Sarzedo, sendo dividido em: montagem da rede de transporte, rede atual e rede proposta.

O capítulo seis apresenta o modelo de avaliação da viabilidade da oferta do serviço de transporte público sob demanda no terminal estudado para a faixa horária definida no estudo de caso e avalia os quesitos: tempo de viagem, extensão dos itinerários, produção quilométrica, frota e emissão de gases do efeito estufa.

O sétimo capítulo apresenta as principais conclusões deste trabalho e, por fim, o oitavo capítulo apresenta as recomendações para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem como objetivo fornecer o embasamento teórico necessário para promover o entendimento de como o transporte sob demanda, na modalidade de transporte público coletivo de passageiros, pode ser utilizado para solucionar os problemas de deslocamento associados a última milha, bem como ajudar a mitigar os problemas de mobilidade urbana.

Para tal, esta seção está dividida em três capítulos: mobilidade compartilhada que é um conceito cada vez mais abordado nos centros urbanos. Transporte coletivo urbano com aspectos das redes de transporte, sistemas integrados de transporte e nível de serviço do transporte público. Transporte sob demanda, que aborda transporte público sob demanda, problema de última milha e o transporte sob demanda como uma possível solução, alimentadoras como um problema de transporte sob demanda e, por fim, impactos no transporte coletivo causados pelos serviços sob demanda.

2.1 Mobilidade compartilhada

A mobilidade urbana está relacionada com a facilidade com que ocorrem os deslocamentos de pessoas e bens no espaço urbano, em defluência das condições físicas e econômicas. Em uma maior abrangência, a mobilidade está ligada à acessibilidade em que um indivíduo possui para satisfazer suas necessidades, ou seja, as condições oferecidas para chegar aos destinos desejados (VASCONCELLOS, 2001).

As condições de deslocamento impactam diretamente na qualidade de vida das pessoas, segundo Ferraz e Torres (2004), no âmbito urbano o transporte e a mobilidade tem o propósito de conectar aos usuários do sistema e fornecer o acesso a atividades, destinos, produtos e serviços.

Em razão da sua relação direta com o movimento de pessoas de distintos grupos sociais, a mobilidade urbana pode ser considerada como um importante balizador social. Sendo assim, há diversos fatores que influenciam diretamente nas condições individuais e coletivas de deslocamentos nos espaços urbanos, tais como: renda mensal, tipo de ocupação profissional, sexo, idade e os modos de transportes disponíveis (KLEIMAN, 2011).

A capacidade e a facilidade de deslocamento de bens e indivíduos estão diretamente relacionadas ao desenvolvimento econômico e social das cidades. Dessa

forma, o transporte coletivo público urbano – que se refere aos deslocamentos realizados dentro das cidades – faz-se extremamente importante na vida da população.

Ferraz e Torres (2004) atribuem ao porte da cidade os modos de transporte, onde centros urbanos maiores tendem a apresentar uma maior infraestrutura viária, com pontes viadutos, faixas exclusivas de ônibus, dentre outras facilidades. Os autores dividem a utilização e apropriação dos modos em três categorias: privado ou individual, público, coletivo ou de massa e semipúblico.

Com o processo de urbanização exacerbado as cidades são desafiadas a oferecer infraestruturas de transportes e serviços de mobilidade para atender as necessidades de deslocamentos da população; serviços de transporte confiáveis e tornam imprescindíveis no deslocamento de pessoas e mercadorias, contudo os serviços convencionais de TPCU operam com rotas e horários fixos, baixa frequência em áreas afastados dos polos geradores de viagem (LIYANAGE et al 2019).

Segundo Archetti *et al* (2017) a sociedade contemporânea em decorrência das mudanças em suas dinâmicas necessita de transportes urbanos inovadores e mais flexíveis que ofereçam serviços que se adequem as suas necessidades. Portanto, a mobilidade urbana, aliada aos avanços tecnológicos, procuram por formas alternativas de transporte, ou seja, oferecem variadas possibilidades para melhorar as cidades para quem vive nelas.

Com essas novas dinâmicas sociais o conceito de mobilidade compartilhada vem sendo cada vez mais utilizado nos centros urbanos, segundo Cassel (2018) a nova tendência econômica de compartilhamento influencia nesse tipo de mobilidade.

O modelo de mobilidade compartilhada apresenta a mobilidade urbana como um serviço em que a viabilização do acesso aos deslocamentos se torna possível com o compartilhamento de viagens e veículos; os modos individuais e públicos de transportes integrados em uma plataforma que possibilita reservar, planejar, acompanhar e pagar as viagens. Essas características reduzem os contratempos das viagens intermodais, além de oferecer serviços mais flexíveis (TOL, 2017).

Segundo LIYANAGE *et al* (2019) a propagação desse modelo pode ser atribuída à sua comodidade, facilidade de utilização, acessibilidade econômica

através de plataformas digitais e inovações. Tendo o potencial de mudar a relação do consumo e do automóvel.

A concepção da mobilidade compartilhada se dá na permissão de que o usuário, de acordo com sua disponibilidade financeira e preferências, escolha uma opção dentre pacotes de mobilidade que envolvem transporte coletivo: ônibus, metrô, trem e transporte individual: carro, táxi, bicicleta, patinete (STEFANSDOTTER et al., 2015).

Na última década os serviços de transporte porta-a-porta evoluíram para aplicativos e os serviços de mobilidade sob demanda entraram em ascensão, tais como: o compartilhamento de bicicletas e veículos, viagens compartilhadas, transporte coletivo sob demanda e principalmente as viagens individuais sob demanda.

2.2 Transporte público coletivo de passageiros urbano

Transporte público coletivo urbano (TPCU) é um sistema de transporte para passageiros por conjuntos de viagens em grupos para uso pelo público geral, normalmente administrados em horários programados, operados em rotas estabelecidas e que cobram uma tarifa que varia por cidade e pode variar de acordo com o modo a ser ofertado. Os serviços de transporte público podem ser fornecidos tanto por empresas públicas como privadas.

As linhas de TPCU, de acordo com Ferraz e Torres (2004), podem ser classificadas de acordo com o seu traçado ou a sua função, a depender da característica que se almeja evidenciar. Na classificação em razão do traçado de uma linha ela pode ser: radial, diametral, circular, interbairros e local.

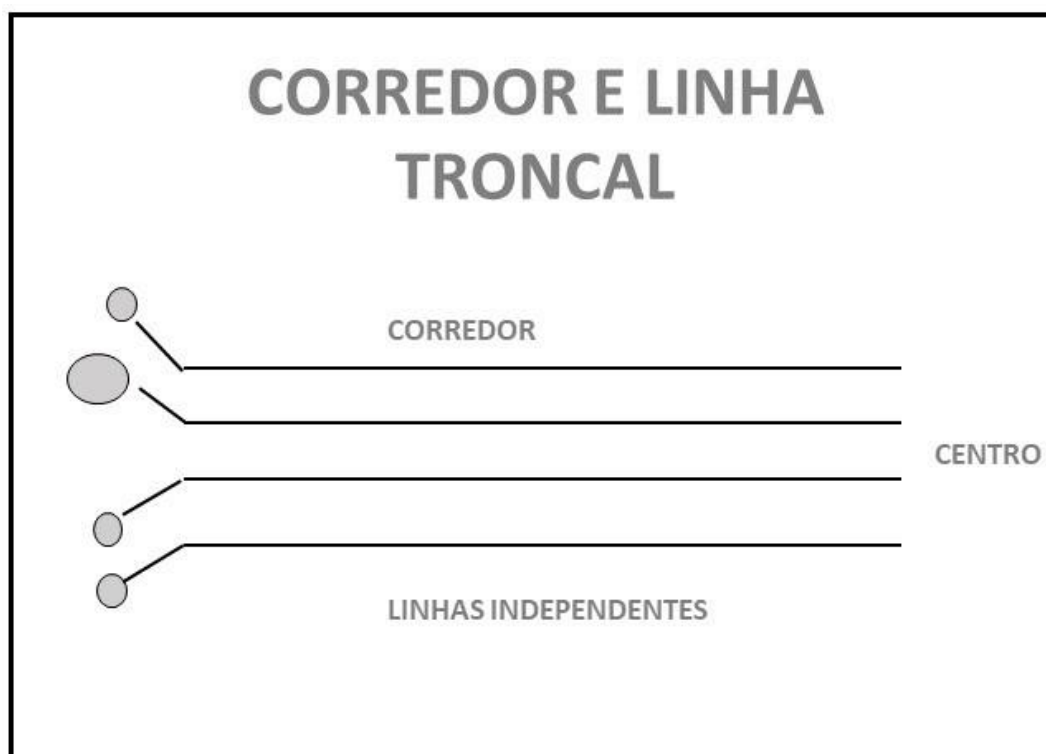
- Linha Radial: Esse tipo de traçado possui a característica de ligar a região central aos bairros;
- Linha Diametral: Conecta duas regiões (bairros) passando pela zona central;
- Linha Circular: Faz a ligação de várias regiões da cidade, o início e o fim do seu traçado se encontram, geralmente são utilizados dois pares complementares de linha: um sentido horário e um anti-horário, para reduzir a quilometragem e tempo de viagem. Comumente a região central fica no centro desse tipo de traçado;
- Linha Interbairros: Desempenha o papel de fazer a conexão de dois polos geradores de viagens, sem passar pela região central;

- Linhas Locais: Abrangem apenas uma zona.

A classificação de acordo com a função desempenhada pela linha, de acordo com Ferraz e Torrez (2004), abarca as seguintes tipologias: convencional, troncal, alimentadora, expressa, seletiva e especial.

- Linha Convencional: Faz a captação de usuários e os transporta da região de origem até o destino e realiza a distribuição nessa mesma região;
- Linha Alimentadora: Capta e distribui a demanda, operando em uma determinada região transferindo passageiros de e para uma estação (terminal de ônibus) de uma linha troncal, é responsável por fazer uma distribuição regional;
- Linha Expressa: sua operação se dá sem ou com poucas (semi-expressas) paradas intermediárias, com isso essas linhas desenvolvem uma maior velocidade operacional e um tempo de viagem menor em relação as linhas convencionais;
- Linha Seletiva: esse tipo de linha realiza um serviço complementar ao transporte coletivo convencional, possui maior tarifa e melhor qualidade para atrair usuários do automóvel;
- Linha Troncal: Realiza a transição de demanda de passageiros entre duas regiões; opera em um corredor com alta concentração de demanda, a Figura 1 ilustra um esquema de linhas troncais e corredores.

Figura 1: Corredor e linha troncal.



Fonte: Adaptado de FERRAZ e TORRES (2004, p. 135).

Esses corredores de transporte público se dão nos trechos das vias mais importantes de maior capacidade das grandes cidades, surgem sobreposição de linhas convencionais independentes de ônibus, produtos da geometria e da hierarquia do sistema viário e da forma de ocupação e uso do solo (VARGAS, 2017).

2.2.1 Redes urbanas do tipo radial com linhas Tronco-Alimentadas

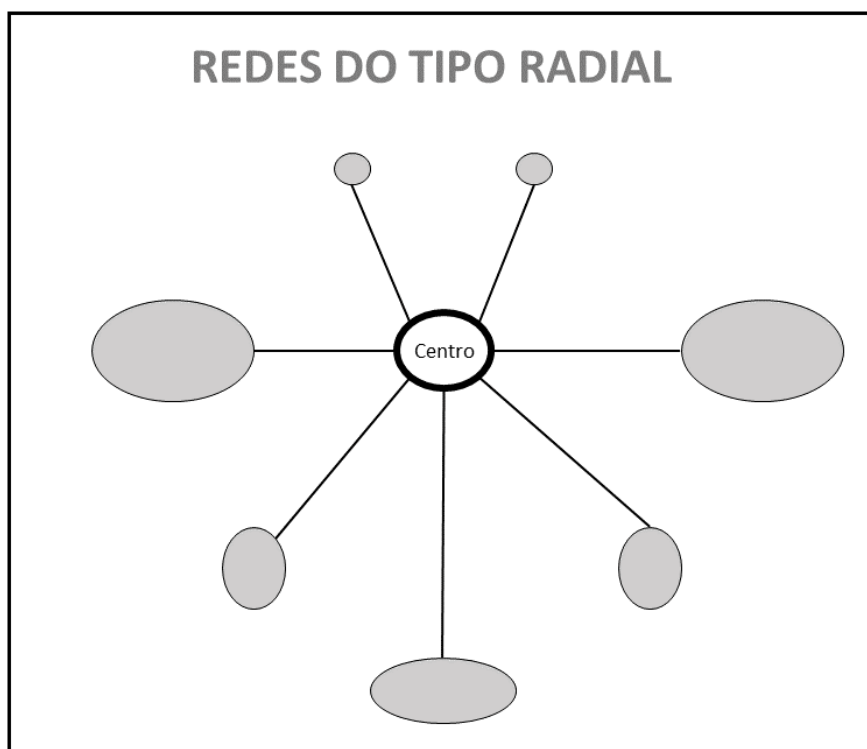
Orrico Filho (2013) conceitua a rede urbana como um conjunto de centros funcionalmente articulados que se torna viável por possuir uma rede de transporte responsável pela articulação entre os centros. Essa rede reflete e reforça as características sociais e econômicas do território, sendo uma dimensão sócio espacial da sociedade.

As redes de transporte público podem basicamente assumir três configurações em relação ao tipo de traçado e função desempenhada, sendo elas: Rede Radial, Rede em Grelha e Rede Radial com Linhas Tronco Alimentadas (FERRAZ e TORRES, 2004).

A Rede Radial possui linhas com configuração radial de transporte público que fazem a ligação de regiões afastadas do centro até a região central - onde se

encontra o maior polo de atração dos usuários (CARVALHO, 2010). Ou seja, em uma definição sucinta, essa rede é composta por linhas que ligam os bairros ao centro. A Figura 2 esquematiza a tipologia de uma Rede Radial, onde as viagens de transportes são direcionadas para o centro.

Figura 2: Rede de transporte radial.

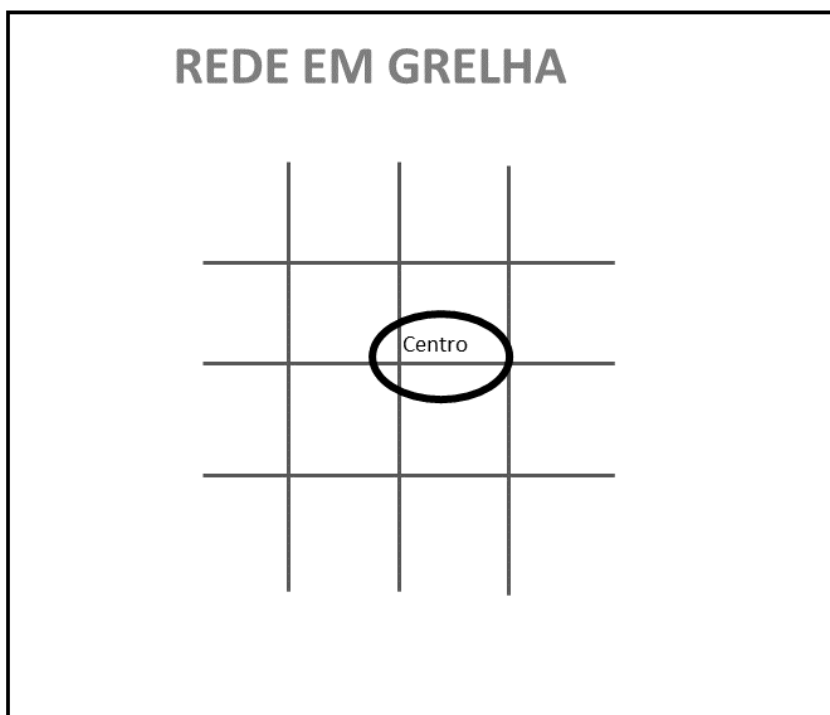


Fonte: Adaptado de FERRAZ e TORRES (2004)

Usualmente recomenda-se a utilização da Rede Radial em regiões que possuem configuração espraçada, em que a região central é um polo de atração de viagens por concentrar bens e serviços (FERRAZ e TORRES, 2004), ainda segundo os autores linhas radiais e diametrais compõem esse tipo de rede. Geralmente não é necessário transbordo na Rede Radial e uma alternativa de não o utilizar é adotar linhas circulares.

Nas cidades em que não há centralização de bens e serviços de acordo com Ferraz e Torres (2004) a Rede em Grelha esquematizada na Figura 3 é adotada; essa rede consiste em “dois conjuntos de rotas paralelas, aproximadamente perpendiculares entre si”.

Figura 3: Rede em Grelha.

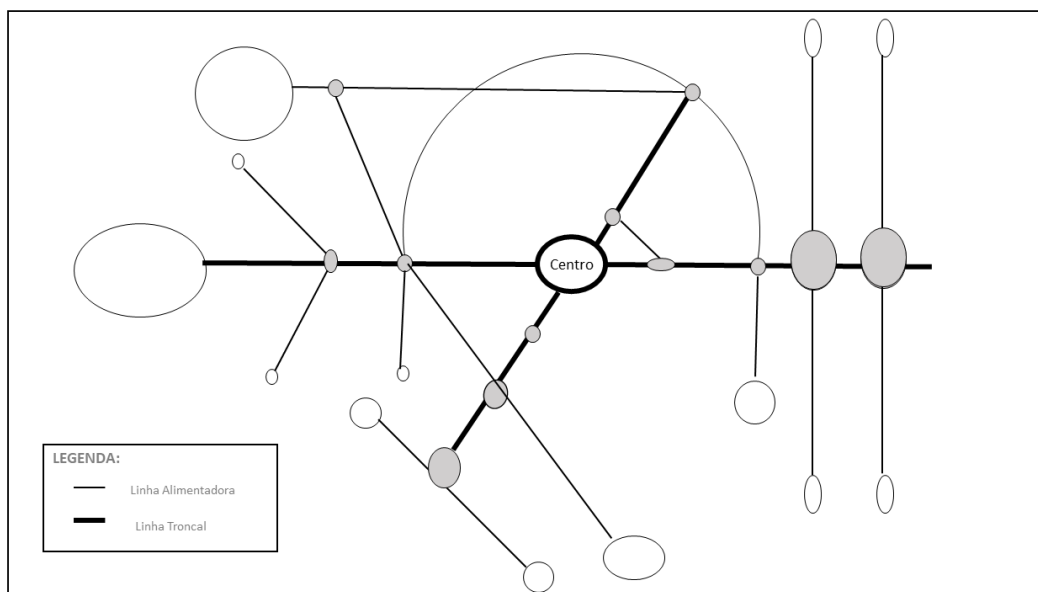


Fonte: Adaptado de FERRAZ e TORRES (2004)

Redes do tipo Grelha são viáveis apenas em cidades com densidade elevada e com suas atividades comerciais dispersas e de prestação de serviços e em que seus habitantes utilizem majoritariamente o transporte público para que as linhas do mesmo possam ter uma frequência elevada (ANDOLFATO, 2005).

As redes urbanas do tipo Radial com Linhas Tronco-Alimentadas esquematizadas na Figura 4 são compostas por linhas troncais ao longo de corredores de maior demanda e operadas com modos de transporte de maior capacidade e velocidade; são conectadas em várias estações (terminais de ônibus) distribuídos ao longo do percurso.

Figura 4: Rede Radial com Linhas Tronco-Alimentadas.



Fonte: (Ferraz e Torres, 2004). Adaptado.

Os terminais são alimentados por linhas que permitem a acessibilidade aos bairros (alimentadoras) elas fazem a ligação desses com os bairros, elas geralmente operam em veículos de ônibus básico ou micro-ônibus. Mesmo que elas possuam origem/destino em áreas centrais, geralmente carecem de transbordo com outra linha de ônibus, segundo Andolfato (2005).

2.2.2 Sistemas integrados de transportes

Segundo Ferraz e Torres (2004), um sistema integrado de transporte pode funcionar com integração física, temporal ou tarifária:

- Na integração física o transbordo de passageiros se dá em um local pré-determinado, para que ela ocorra é necessário que os veículos parem em um local determinado – geralmente em terminais de integração, não exigindo grandes deslocamentos para a troca de linhas;
- A integração tarifária é realizada quando os passageiros não necessitam realizar pagamento adicional ou pagam um valor reduzido para fazer o transbordo entre linhas;
- Por fim, na integração temporal, o usuário pode trocar de ônibus, sem pagar uma nova passagem, podendo ser fora de um terminal de integração, desde que passe na catraca do ônibus seguinte, dentro de um determinado período de tempo.

2.2.3 Nível de serviço do transporte público

O transporte público é um serviço fundamental para permitir o acesso às necessidades básicas do cidadão moderno, que precisa deslocar-se de um ponto a outro. Para que a cidade funcione bem é preciso que o transporte seja eficiente. Quanto menor o tempo de deslocamento, mais liberdade uma pessoa terá para realizar outras atividades, produtivas ou não. Além disso, quanto mais agradável o meio de transporte, maiores os benefícios diretos para o cidadão ao longo do percurso realizado.

Os atributos que abrangem a qualidade dos serviços prestados de transporte público coletivo de urbano possuem variam de acordo com diferentes aspectos, porém sempre confluem em um mesmo parâmetro, na percepção dos usuários em relação ao serviço ofertado (COUTO, 2011).

Para Barone, Mongelli e Tassitani (2016) a qualidade dos serviços ofertados de TPCU pode ser determinada através de duas tipologias: objetiva e subjetiva, sendo que a primeira engloba atraso, frequência e pontualidade; já na avaliação subjetiva é são apreciados o nível de segurança e limpeza.

Se para os usuários as percepções de qualidade do serviço de transporte público coletivo de passageiros são variáveis, para o operador ela é medida pela rentabilidade do serviço lucro; por outro lado, para os órgãos gestores anseiam equilibrar os contratos em termos financeiros e garantir a satisfação dos usuários (COUTO, 2011).

2.3 Transporte Sob Demanda

O conceito Transporte sob demanda tem sido destaque em países europeus, norte-americanos e asiáticos (Furtado, 2017), sendo caracterizado, de maneira geral, como um ônibus ou uma van que não se limita às rotas tradicionais pré estabelecidas ou a um quadro de horários fixos. É um tipo de transporte que engloba todos os tipos de transportes públicos, porém com especificações flexíveis de acordo com a demanda solicitada, o que promove uma maior aceitação desse serviço por parte dos usuários.

É um tipo de transporte que pode ser público ou privado com foco no usuário e programação flexível, que promove o encaminhamento flexível de veículos

pequenos ou médios para os locais desejados de recolha e entrega dos passageiros num modo de passeio partilhado.

Se distingue do transporte público coletivo de passageiros tradicional, principalmente, pela resposta às necessidades dos usuários, uma vez que não é a demanda que terá que se adaptar a rede de transportes, mas ela que se flexibiliza de acordo com os interesses dos passageiros.

Os táxis são um exemplo clássico do serviço de transporte sob demanda realizando um serviço porta a porta, porém esse meio é oneroso e a tarifa é inacessível para a maior parcela da população que depende do transporte público (ATASOY et al., 2015).

Os serviços sob demanda também podem ser compartilhados. O serviço Kutsuplus em Helsinque, Finlândia, leva reservas de até 60 minutos de antecedência (RISSANEN, 2014). Os passageiros viajam juntos em um microônibus, mas não necessariamente compartilham origens nem destinos. Serviços semelhantes, como a partilha de automóveis ou bicicletas, podem também ser considerados como serviços a pedido.

Embora ainda limitada sobre este assunto, a literatura descreve o transporte sob demanda podendo ser de três tipos: com itinerários e paradas fixas, itinerários não especificados e paradas fixas e com itinerários e paradas não definidos (ARCHETTI; SPERANZA; WEYLAND, 2017).

O primeiro modelo, onde os itinerários e pontos de paradas são fixos, é o que mais se aproxima do transporte público coletivo de passageiros convencional, o que difere é os usuários fazem a reserva antecipada e ele funciona apenas quando demandado.

2.3.1 Transporte público sob demanda

Para um melhor entendimento do tema, é importante apresentar alguns casos de implantação do transporte público coletivo sob demanda que obtiveram sucesso. O estudo desses casos pode servir de subsídio para gestores inserirem essa modalidade nos estudos para melhoria do transporte coletivo dos municípios brasileiros (BRASIL, 2019).

Internacionalmente, existem alguns sistemas bem-sucedidos de transporte público coletivo sob demanda. Um bom exemplo é a cidade-estado de Cingapura, que implantou o projeto em 2018, realizando o atendimento em dias e horários específicos

para substituir parte das rotas de ônibus de baixa demanda. Em Dubai, também é possível encontrar este tipo de serviço, onde o passageiro reserva seu assento em um aplicativo e, em seguida, o ônibus busca o passageiro na parada mais próxima (BRANCO; ÁVILA, 2020)

Em Sidney, o sistema foi implantado por meio de uma parceria entre a operadora Transit Systems, detentora da concessão, e a norte-americana BRIDJ, detentora da tecnologia, com o intuito de realizar a alimentação das estações de Trem de Strathfield e Burdwood com uma frota de aproximadamente 600 ônibus, atendendo a mais de 50 milhões de passageiros por ano. O que é único nesse sistema integrado de transporte sob demanda é que ele foi concebido como um dos componentes de um amplo plano de melhoria de rede de transporte da cidade. Ao optar pelo modelo de transporte sob demanda nos serviços alimentadores, buscou-se uma cobertura mais eficiente, que preenchesse lacunas e ofertasse um serviço de primeira e última milha mais satisfatório ao cliente (BRIDJ, 2020).

O Kutsuplus foi ofertado em Helsinki, na Finlândia, até o final do ano de 2015, quando foi descontinuado devido aos elevados custos do subsídio público ao serviço. O serviço era operado por uma frota de vans atendendo sob demanda os passageiros com rotas, paradas e horários flexíveis, sendo o pagamento realizado através do próprio aplicativo instalado no celular. O objetivo central do projeto era oferecer um novo serviço de transporte público mais barato que o táxi e capaz de fazer os cidadãos migrarem do transporte individual para o transporte público (HSL, 2016).

O Brasil também conta com sistemas bem-sucedidos de transporte público coletivo sob demanda, como é o caso do CityBus 2.0, primeiro modelo da América Latina, implantado na cidade de Goiânia (MOBILIZE, 2020). O projeto parte da necessidade de inovação do sistema convencional e do reconhecimento das necessidades dos passageiros e das fraquezas do sistema estruturante. O objetivo central é promover um atendimento eficaz aos passageiros e atrair novos utilizadores.

O serviço do CityBus 2.0 foi concebido e é operado pela HP Transportes Coletivos Ltda, uma das consorciadas responsáveis pela operação do transporte público coletivo de passageiros convencional da cidade de Goiânia, em parceria com a Via Transportation Inc., detentora do aplicativo (BRANCO; ÁVILA, 2020). O serviço, que começou a funcionar em fevereiro de 2019, possui rotas, pontos de parada e horários flexíveis e opera integrado ao transporte público coletivo de passageiros convencional, sendo a tarifa definida em função da quilometragem utilizada.

Atualmente o serviço atende 50 bairros da cidade, conta com 80 mil usuários cadastrados e com uma frota de 40 vans que percorreram ao longo do primeiro ano 1,2 milhões de km (DIÁRIO DO TRANSPORTE, 2020a).

No Brasil, a Via Transportation Inc. também é parceira tecnológica nos sistemas de transporte sob demanda de Fortaleza e Brasília. Em São Paulo, a plataforma de transporte sob demanda Ubus, do Grupo Praxio, tem operação no sistema metropolitano de São Paulo com a Metra e no sistema municipal de São Bernardo do Campo. Em ambos os casos as rotas, os pontos de embarque e os horários são fixos e os usuários acessam o aplicativo para reservar lugar nos veículos (DIÁRIO DO TRANSPORTE, 2020b).

2.3.2 Problema da última milha e o transporte sob demanda como uma possível solução

Esse contexto de intensa urbanização pautada no crescimento urbano espraiado, aliado às políticas de investimento em infraestruturas rodoviárias bem como à facilidade de acesso ao automóvel e à casa própria resultou em uma utilização ainda maior do automóvel. O transporte coletivo surge como uma solução em potencial de melhoria das externalidades negativas causadas pelo uso crescente de veículos individuais motorizados, no entanto, de acordo com Charisis, Iliopoulou e Kepaptsoglou (2018), para que isso aconteça, o serviço deve ser mais seguro, confiável e eficiente aos seus utilizadores.

Em relação à eficiência do serviço de transporte público, Lane (2012) afirma que embora as linhas pendulares se apresentem com um excelente potencial para acessar os principais centros de atividade de uma área urbana, conectar e tornar acessíveis as áreas de baixa densidade destas localidades tem sido um dos principais desafios enfrentados pelo transporte público na atualidade. Este fato, comumente apresentado como “problema da primeira/última milha” refere-se à ineficiência dos serviços de transporte público na ligação com o destino final dos passageiros, embora o transporte coletivo de alta capacidade faça as conexões entre as centralidades, a ineficiência de uma conexão com o destino dos passageiros é frequentemente observada.

De acordo com Wang e Oadini (2016) a última milha é um dos principais fatores que afetam a competitividade do transporte público coletivo de passageiros em relação aos veículos particulares, sejam eles formais ou não, principalmente em

determinados grupos como idosos, crianças e portadores de necessidades especiais que valorizam as facilidades de um serviço porta-a-porta.

Soluções como o *e-hailing*, compartilhamento de veículos ou os serviços de pré-reserva de veículos podem ser utilizadas para o problema da última milha, mas, segundo Stiglic *et al.* (2018) são opções caras e que fornecem uma grande lacuna entre planejamento e operação. Diante disso, novos conceitos de transporte foram propostos dentre eles, o de TRANSPORTE SOB DEMANDA tem se destacado em países europeus, norte-americanos e asiáticos (Furtado, 2017), sendo caracterizado como um conjunto de atendimentos que não se limitam a rotas tradicionais pré-estabelecidas ou um quadro de horários fixo. É uma solução que pode se acoplar em áreas específicas ao sistema de transporte público aumentando a qualidade e a aceitação do serviço.

O transporte sob demanda pode ser público ou privado, mas possui sempre foco no usuário e programação flexível, promovendo o encaminhamento de veículos de diferentes portes para os locais demandados de embarque e desembarque de passageiros num modo de viagem compartilhado. Os serviços sob demanda também podem ser compartilhados e até mesmo utilizar veículos coletivos, como o *Kutsuplus* em Helsinque, na Finlândia, em que os passageiros viajam juntos em um microônibus com reservas pré-estabelecidas em até 60 minutos de antecedência, mas não necessariamente compartilham origens nem destinos (Rissanen, 2014).

A atratividade dos sistemas transporte sob demanda está relacionada ao fato de responderem à demanda real dos passageiros ao contrário dos serviços que operam com rotas e horários pré-definidos, estes sistemas flexíveis portanto apresentam grande competitividade frente ao transporte público tradicional caracterizado pela alta inelasticidade e frequências pré-determinadas. Assim, a principal distinção entre o TRANSPORTE SOB DEMANDA e o modo de transporte público coletivo de passageiros tradicional consiste na inversão da lógica de atendimento ao usuário, uma vez que neste caso a rede se flexibiliza para o atendimento das demandas reais, de acordo com o desejo dos passageiros, e não o contrário.

2.3.3 Alimentadoras como um problema de transporte sob demanda

Embora ainda limitada, a literatura classifica o transporte sob demanda em três tipos: com itinerários e paradas fixas, itinerários não especificados e paradas fixas

e com itinerários e paradas não definidos (ARCHETTI; SPERANZA; WEYLAND, 2017). O primeiro é o que mais se aproxima do TPCU convencional, o que difere é que os usuários fazem a reserva antecipada e ele funciona apenas quando demandado.

Uma das possibilidades para solucionar o problema da primeira/última milha no sistema de transporte coletivo é a utilização do transporte sob demanda nas linhas alimentadoras, como apresentado por Chandra e Quadrifoglio (2013). Esta solução tem por objetivo conectar áreas residenciais de baixa densidade às principais rotas fixas das redes de transporte coletivo maximizando a qualidade do serviço com a redução dos tempos de espera e de viagem. Neste sentido, o estabelecimento de serviços alimentadores pelo transporte sob demanda para conectar áreas residenciais a grandes corredores de transporte de alta capacidade apresentam-se como uma alternativa ao transporte coletivo convencional para melhorar o atendimento à demanda com custo reduzido em comparação aos outros serviços mencionados.

2.3.4 Impactos no transporte coletivo causados pelos serviços sob demanda

Mesmo com o relevante papel do transporte público coletivo de passageiros, na sustentabilidade das cidades (FERRAZ; TORRES, 2008), o mesmo vem sofrendo redução no número de usuários, segundo o Relatório da NTU (2017) no período de 2013 a 2017 essa perda foi de 25,9%.

Em contrapartida, os serviços de transporte por aplicativo estão em ascensão, de acordo com a Pesquisa de Origem e Destino 2017 do Metrô de São Paulo (2019), os serviços de táxi apresentaram um crescimento de 414%; impulsionadas pela entrada em operação dos serviços demandados por aplicativos.

Segundo a ANTP (2019), é esperado que essa redução na demanda do transporte público coletivo de passageiros em decorrência de fatores econômicos do país, com reflexo nas baixas taxas de crescimento do PIB e na alta taxa de desemprego. Outro fator colaborativo nessa redução de demanda é a busca por parte dela por outras formas de deslocamento – principalmente a utilização transporte por aplicativo para realização das viagens.

Caso os impactos dos serviços demandados por aplicativos sejam majoritariamente de concorrência com o transporte público coletivo de passageiros, esta queda de demanda será agravada, aumentando ainda mais o prejuízo à população (CASSEL, 2018).

A relação entre o transporte público coletivo de passageiros e os serviços de transporte por aplicativo complementar e concorrente. Rayle et al. (2016) desenvolveu uma pesquisa em São Francisco, que analisou a possibilidade de as viagens realizadas por serviços de transporte por aplicativo serem substituídas por transporte coletivo. A pesquisa constatou que em 66% dos casos essas substituições geraram viagens com o dobro do tempo, porém foi constatado que viagens mais curtas tendem a ser mais rápidas com o ônibus.

Os impactos esperados de uma migração de demanda do sistema de transporte público por ônibus para o transporte por aplicativos foram estimados em duas etapas: efeitos diretos, representados pela queda na arrecadação tarifária; e efeitos indiretos, representados pelo aumento de custo operacional, decorrente da redução de velocidade comercial dos ônibus. Estes dois efeitos combinados afetam diretamente a tarifa de remuneração dos sistemas de ônibus (ANTP, 2019).

2.4 Características de sistemas que operam no transporte público sob demanda

Para recomendar a utilização do transporte público sob demanda como parte da operação de uma rede de transportes é preciso avaliar uma série de fatores, segundo Papanikolaou, Basbas, Mintsis e Taxiltaris (2017), é preciso ter cautela na implantação desse tipo de serviço.

O maior fator responsável pelo insucesso deste tipo de oferta é a introdução de uma operação inapropriada para o mercado introduzido, ou seja, está relacionado com a ausência de uma metodologia capaz indicar os fatores e condições ideais prévias de operação (DAVISON et al, 2021).

Portando, neste item serão descritos alguns critérios a serem avaliados para verificar a viabilidade da utilização o transporte público sob demanda, como forma de melhorar o nível de serviço e captar e recuperar a demanda de passageiros.

- **Baixa demanda**

Uma das premissas de viabilidade de implantação do sistema sob demanda como parte da operação de uma rede de transporte permeia na baixa procura dos usuários naquela determinada faixa horária.

Diana, Quadrifoglio e Pronello (2007), elaboraram um estudo comparando o desempenho do transporte público coletivo de passageiros e o transporte público

sob demanda em diversos fatores: emissões de poluentes, distância percorrida e custo; onde em transporte público sob demanda teve um desempenho superior ao convencional em áreas de baixa procura.

Ainda segundo Gorev, Popova e Solodkij (2020), este tipo de oferta é tipicamente utilizado para atender redes noturnas ou com baixa demanda de passageiros, o estudo considera sua implantação justificável quando o índice de passageiros por hora gira em torno de 2,5 a 4.

- Curtas distâncias

O transporte público sob demanda se torna atraente aos usuários por reduzir o tempo de espera devido a possibilidade de programação e trazer a possibilidade de personalização do local de embarque/desembarque. No entanto, essa premissa se torna ineficiente para o transporte de longas distâncias, pois reduz a viabilidade de otimização das rotas (SHERAZI; IQBAL 2015).

- Flutuação da demanda

A baixa flexibilidade do serviço convencional de ônibus e à variabilidade inerente ao mercado do mesmo, onde usuários diferentes ou ainda os mesmos usuários em tempos distintos, podem possuir requisitos variados de um serviço de transporte. Esses requisitos são mais fáceis atendidos pelo transporte público sob demanda (DAVISON et al, 2012 apud LAWS 2009).

Ou seja, além dos fatores de baixa demanda e rotas curtas, um fator importante de viabilidade do transporte coletivo sob demanda é a rede apresentar flutuação da demanda na faixa horária em que se deseja fazer o uso desse tipo de operação. Caso contrário apenas uma rede de oferta de domingo bastaria.

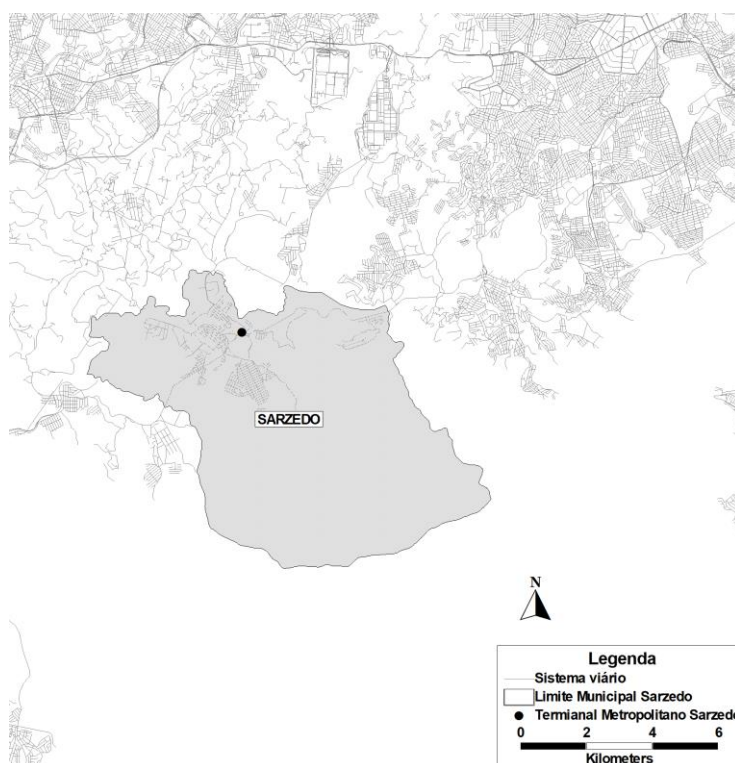
3 ÁREA DE ESTUDO

Para um melhor entendimento da área de estudo escolhida para este trabalho, neste capítulo serão descritas algumas características gerais da cidade de Sarzedo e das linhas que integram no seu Terminal Metropolitano de ônibus.

3.1 Caracterização geral

Sarzedo é um dos 34 municípios da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) e está localizado a cerca de 30 km do centro da capital no chamado Vetor Oeste, composto também pelos municípios de Contagem, Betim, Ibirité e Mario Campos.

Figura 5: Mapa de Sarzedo - MG.



Fonte: Elaboração própria, 2021.

Sua população para o ano de 2018 foi estimada em 32.069 habitantes (IBGE, 2019), ficando classificado em 17º lugar no rol de municípios da Região Metropolitana.

3.2 Histórico de ocupação

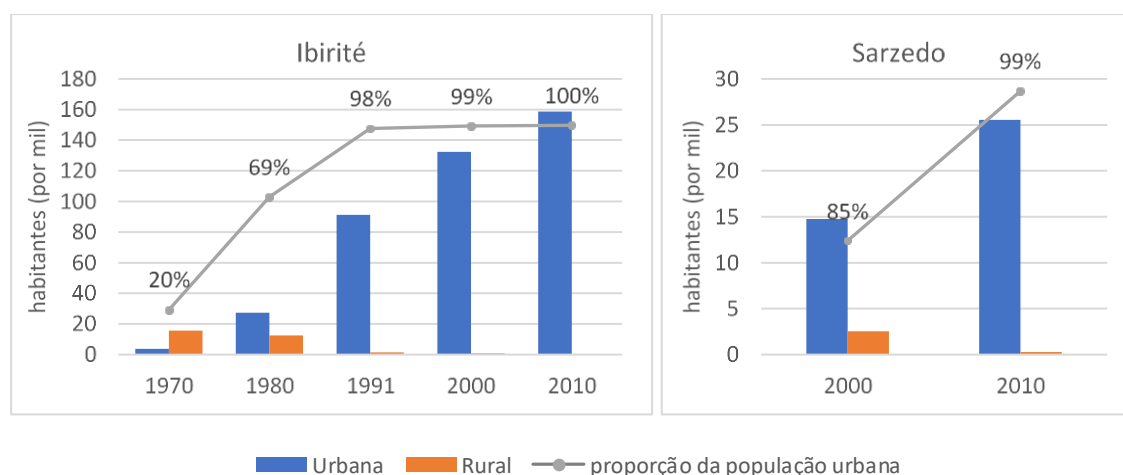
O município de Sarzedo foi criado em 21/12/1995 pela lei estadual nº 12.030 a partir do desmembramento do município de Ibirité. Até a década de 1950, a

economia de Ibitaré era dedicada essencialmente à agricultura, com mercado consumidor localizado em suas proximidades (SIMÕES, 2007). O crescimento do município se intensificou a partir do final dessa década com o processo de metropolização, quando a cidade industrial chegou à Contagem e Ibitaré (NOVAIS e OLIVEIRA, 1989 *apud* SIMÕES, 2007).

Nos anos seguintes, a expansão urbana de Belo Horizonte ocorreu predominantemente na direção oeste, região em que se concentrou grande parte dos loteamentos aprovados entre 1950 e 1976 (DINIZ, 2015), incluindo o distrito de Durval de Barros, em Ibitaré. Segundo Simões (2007), o crescimento populacional de todas as áreas do município – dentre elas, os distritos Sede, Sarzedo e Mário Campos – iniciou-se com a redução do parcelamento de lotes no distrito de Durval de Barros, área que até então, demonstrava um crescimento populacional mais acelerado.

Ibitaré passou por um acelerado crescimento populacional a partir da década de 1970, experimentando taxas superiores a 7% ao ano¹. Esse crescimento foi quase que exclusivamente urbano com a população deste segmento chegando, nos dias de hoje, a representar a quase totalidade dos habitantes tanto em Ibitaré quanto em Sarzedo. Os gráficos da Figura 6 mostram a evolução da população nos dois municípios a partir dos dados do censo do IBGE de 1970 a 2010.

Figura 6: Evolução da população e da proporção da população urbana- Ibitaré e Sarzedo.



Fonte: Adaptado de IBGE, 2021.

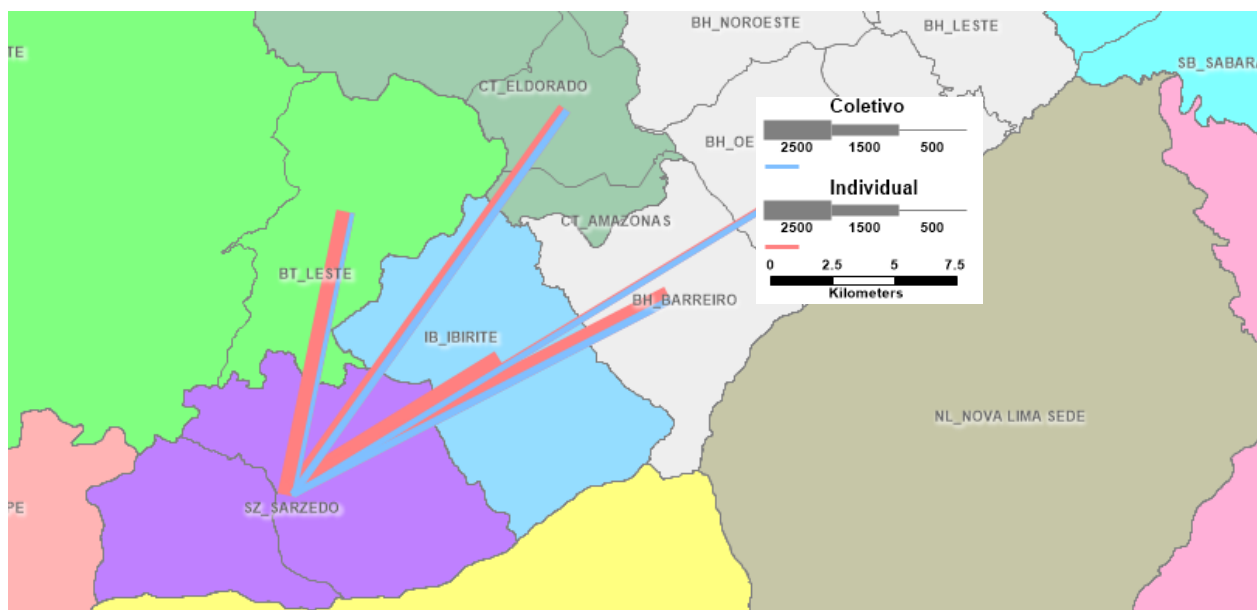
¹ Taxas crescimento do conjunto de municípios Ibitaré-Sarzedo-Mário Campos: 1970-1980: 7,44% ao ano; 1980-1991: 7,95% ao ano; 1991-2000: 6,32% ao ano; 2000-2010: 4,05% ao ano.

Nota-se que Sarzedo, após sua emancipação, também apresentou elevado crescimento. Desde 2000, primeiro ano do censo de Sarzedo como município independente, até os dias de hoje, a população deste município mais que dobrou de tamanho.

3.3 Aspectos gerais da mobilidade

Sarzedo é hoje uma cidade dormitório com um alto número viagens pendulares a municípios vizinhos. Segundo a última Pesquisa Origem Destino da RMBH, em 2012, o conjunto Sarzedo-Mário Campos gerava um total de 66.723 viagens por dia, sendo 59% externas com base, principalmente, em Betim, Ibirité, Contagem e Belo Horizonte (Figura 7). Dessas viagens externas, aproximadamente 44% são realizadas por transporte coletivo, menor valor dentre os demais municípios do vetor oeste².

Figura 7: Distribuição das viagens externas de Sarzedo/Mário Campos – modos coletivo e individual.



Fonte: Adaptado de Agência RMBH, 2012.

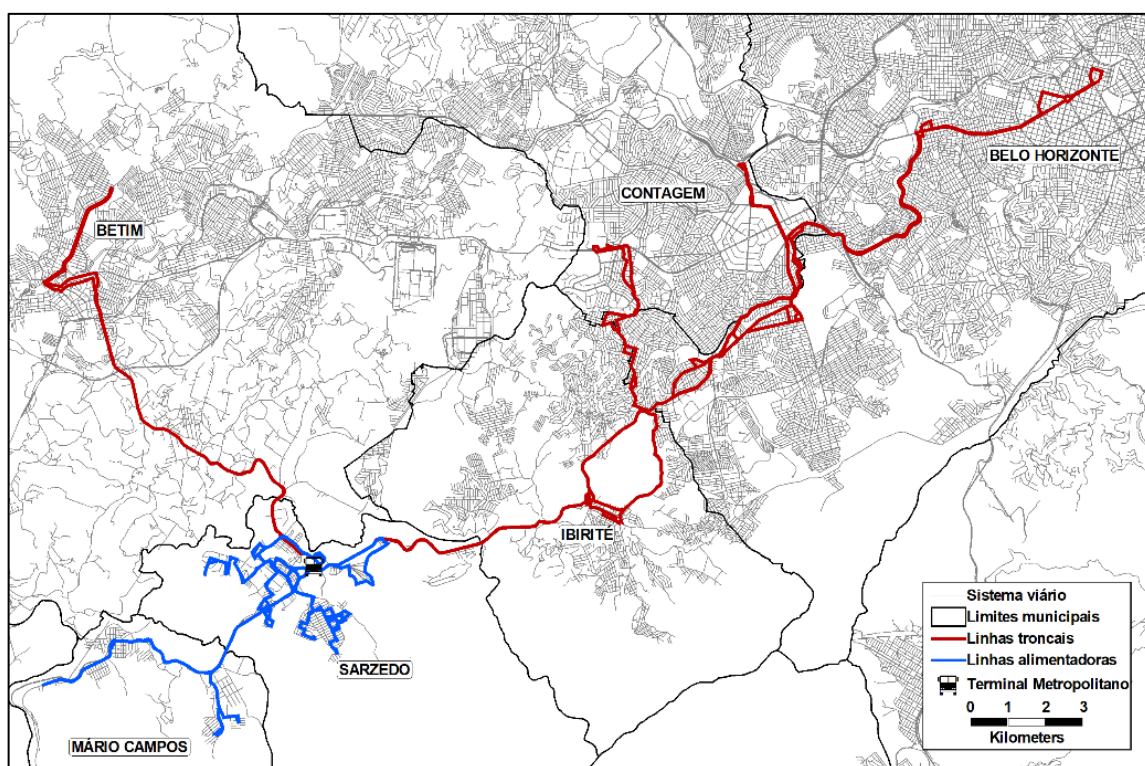
O sistema de transporte público metropolitano que serve o município de Sarzedo, no ano de 2018 que é o ano dos dados analisados neste trabalho, é

² Percentual de viagens externas feitas por transporte coletivo: Contagem - 47%; Betim - 47%; Ibirité - 52%.

composto por 6 linhas troncais, rede estruturante que faz ligação com Belo Horizonte, Contagem, Betim e Ibirité e 8 linhas alimentadoras, cuja bacia abrange não somente Sarzedo, mas também o município de Mário Campos (Figura 8). A integração física entre essas linhas ocorre no Terminal Metropolitano de Sarzedo, localizado à margem da rodovia MG-040, próximo ao centro da cidade.

Um aspecto particular sobre essa rede de alimentadoras é o papel que exerce no transporte intramunicipal da população local, visto que nenhum dos dois municípios cobertos (Sarzedo e Mário Campos) possui serviço de transporte próprio.

Figura 8: Linhas metropolitanas que atendem o município de Sarzedo.



Fonte: Elaboração própria, 2021.

3.4 Caracterização operacional do sistema de transporte

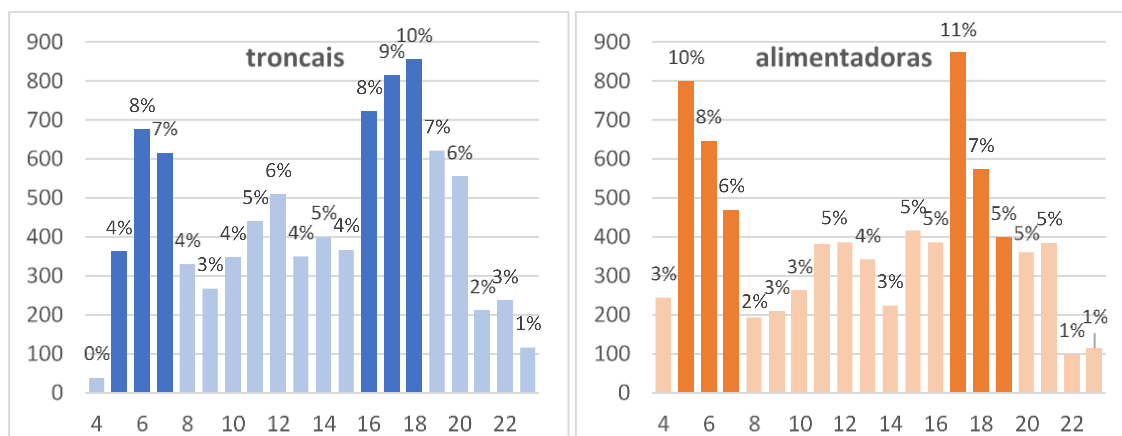
A caracterização do sistema de transporte coletivo realizada nesse artigo foi baseada nas informações de programação e de execução dos serviços, sendo as de execução advindas do sistema de bilhetagem eletrônica (SBE) do dia 05 de abril de 2018, fornecidos pela Secretária de Estado de Transportes e Obras Públicas de Minas Gerais (SETOP). Os dados são do Sistema de Gerenciamento do Transporte Metropolitano (SGTM)

A distribuição horária da demanda de passageiros nas linhas do Terminal de Sarzedo é apresentada na Figura 9 que mostra os gráficos do volume de passageiros (eixo vertical) por faixa horária (eixo horizontal) para os conjuntos de linhas troncais (primeiro gráfico) e de linhas alimentadoras (segundo gráfico).

Observa-se nitidamente dois períodos de pico (destacados no gráfico pelas barras escuras): um pela manhã, entre 5:00h e 7:59h, e outro à tarde, a partir das 16:00h nas linhas troncais e a partir das 17:00h nas linhas alimentadoras. Essa diferença de tempo no pico da tarde se deve à movimentação pendular dos passageiros nas viagens casa-trabalho e trabalho-casa. No período da tarde, a maior parte dos passageiros embarca primeiro nas linhas troncais – que conectam áreas comerciais ao terminal – e, em seguida embarcam nas linhas alimentadoras que conectam o terminal aos bairros residenciais de Sarzedo e Mário Campos.

O efeito reverso dos movimentos pendulares pode ser observado no período da manhã, em que a hora de máximo volume ocorre às 5:00h nas linhas alimentadoras e às 6:00h nas linhas troncais. Fora dos períodos de pico, a demanda de passageiros é consideravelmente baixa, com volumes inferiores a 400 passageiros/hora na maior parte do tempo, sobretudo nas linhas alimentadoras.

Figura 9: Distribuição horária da demanda de passageiros das linhas troncais e alimentadoras

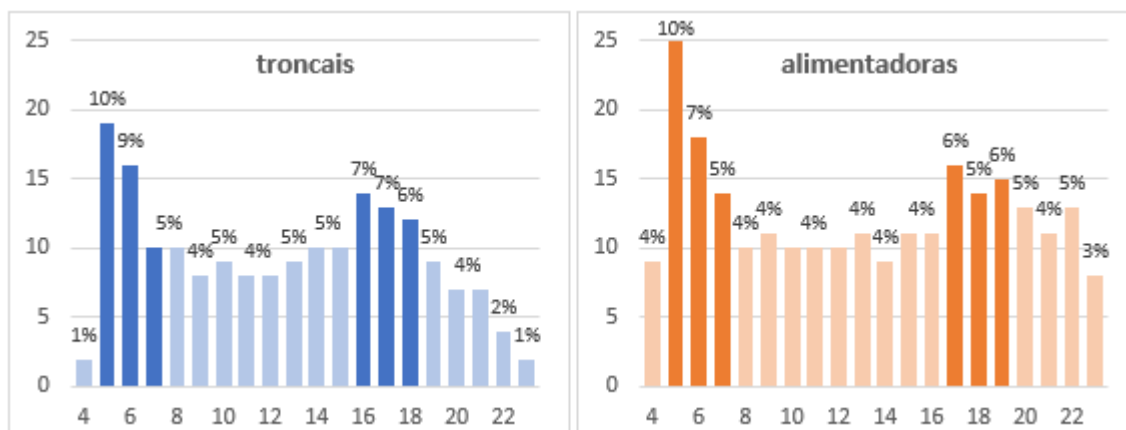


Fonte: Adaptado de SETOP 2018, dados SGTm.

Ao observar a variação horária da oferta de viagens (Figura 10), verifica-se que os horários de pico da tarde não são tão pronunciados quanto nos gráficos de demanda. Isso acontece, pois a maior parte das linhas opera com frequência próxima ao mínimo estabelecido como requisito de qualidade, o que indica uma baixa

produtividade do sistema, principalmente nos períodos fora-pico (barras de cor clara dos gráficos).

Figura 10: Distribuição horária da oferta de viagens das linhas troncais e alimentadoras.



Fonte: Adaptado de SETOP 2018, dados SGTm.

A Tabela 1 e a Tabela 2 apresentam alguns dados operacionais no nível de detalhe das linhas, que foram agrupadas nos serviços troncal e alimentador. Para cada uma das linhas, são apresentados valores de quatro variáveis: demanda (passageiros transportados), viagens (número de partidas dos veículos), passageiros/viagem (média de passageiros transportados por viagem) e *headway* (intervalo entre partidas). Ressalta-se que o termo “viagens” se refere ao número de partidas dos veículos e não às viagens realizadas pelas pessoas ao longo do dia.

Em termos temporais as variáveis foram desagregadas pelos períodos do dia, definidos em função da distribuição horária da demanda e da oferta de viagens, sendo eles: fora pico manhã (FPM), pico manhã (PM), entre pico (ET), pico tarde (PT) e fora pico tarde (FPT). Os horários abrangidos em cada uma dessas divisões temporais são apresentados ao final da tabela. As linhas troncais 313M e 314M e as alimentadoras 3651 e 3681 foram agrupadas na tabela por atenderem o mesmo destino e terem itinerários muito semelhantes.

Tabela 1: Dados operacionais por linha e período, linhas alimentadoras.

Indicador	Períodos	Alimentadoras							
		3651+ 3681	3661	3691	3711	3721	3741	3781	Σ
demanda	FPM	31	36	0	83	32	69	0	251
	PM	418	191	82	315	262	438	206	1.912
	ET	817	224	118	360	508	569	205	2.800
	PT	363	131	68	375	294	441	171	1.844
	FPT	238	72	59	183	137	232	115	1.037
	total	1.867	654	327	1.317	1.233	1.749	697	7.845
viagens	FPM	3	2	0	1	1	1	1	9
	PM	16	4	4	7	8	12	6	57
	ET	27	8	8	11	13	18	8	93
	PT	12	5	2	6	6	9	5	45
	FPT	15	6	3	7	5	12	5	53
	total	73	25	17	32	33	52	25	257
headway	FPM	20	30	-	60	60	60	60	51
	PM	11	45	45	26	23	15	30	23
	ET	20	68	68	49	42	30	68	39
	PT	15	36	90	30	30	20	36	28
	FPT	24	50	60	43	48	30	48	38
	média	18	50	67	39	36	25	48	34
passageiros/viagem	FPM	10	18	0	83	32	69	0	28
	PM	26	48	20	45	33	37	34	34
	ET	30	28	15	33	39	32	26	30
	PT	30	26	34	63	49	49	34	41
	FPT	16	12	20	26	27	19	23	20
	média	26	26	19	41	37	34	28	31

Fonte: Adaptado de SETOP 2018, dados SGTm.

legenda:

FPM: fora pico manhã (00:00h às 04:59h)
 PM: pico manhã (05:00h às 07:59h)
 ET: entre pico (08:00h às 15:59h para linhas troncais e 08:00h às 16:59h para as alimentadoras)
 PT: pico tarde (16:00h às 18:59h para linhas troncais e 17:00h às 19:59h para as alimentadoras)
 FPT: fora pico tarde (19:00h às 23:59h para linhas troncais e 20:00h às 23:59h para as alimentadoras)

Um primeiro aspecto a se observar na Tabela 1 e na Tabela 2 diz respeito à comparação entre os serviços troncal e alimentador. Nota-se que o primeiro grupo transporta 12% mais passageiros que o segundo, porém ofertam 27% menos viagens em termos totais, apesar de ambos terem 37 viagens por linha em média. A diferença existente entre a quantidade de passageiros transportada e o número total de viagens resulta em uma menor eficiência do sistema alimentador.

Tabela 2: Dados operacionais por linha e período, linhas troncais.

Indicador	Períodos	Troncais					
		310C	316R	313M+ 314M	317R	315R	Σ
demanda	FPM	0	0	35	0	0	35
	PM	101	409	741	216	184	1.651
	ET	163	469	2.143	36	198	3.009
	PT	200	395	1.311	207	275	2.387
	FPT	129	151	1.328	20	113	1.741
	total	593	1.423	5.558	478	770	8.822
viagens	FPM	0	0	2	0	0	2
	PM	5	7	23	7	3	45
	ET	9	12	43	1	7	72
	PT	3	5	21	7	3	39
	FPT	3	4	18	2	2	29
	total	20	28	107	17	15	187
headway	FPM	-	-	30	-	-	30
	PM	36	26	8	26	60	22
	ET	53	40	11	-	69	22
	PT	60	36	9	26	60	25
	FPT	60	60	17	30	90	29
	média	52	40	15	27	70	27
passageiros/viagem	FPM	0	0	18	0	0	18
	PM	20	58	32	31	61	37
	ET	18	39	50	36	28	42
	PT	67	79	62	30	92	61
	FPT	43	38	74	10	57	60
	média	30	51	52	28	51	47

Fonte: Adaptado de SETOP 2018, dados SGTm.

legenda:

FPM: fora pico manhã (00:00h às 04:59h)
 PM: pico manhã (05:00h às 07:59h)
 ET: entre pico (08:00h às 15:59h para linhas troncais e 08:00h às 16:59h para as alimentadoras)
 PT: pico tarde (16:00h às 18:59h para linhas troncais e 17:00h às 19:59h para as alimentadoras)
 FPT: fora pico tarde (19:00h às 23:59h para linhas troncais e 20:00h às 23:59h para as alimentadoras)

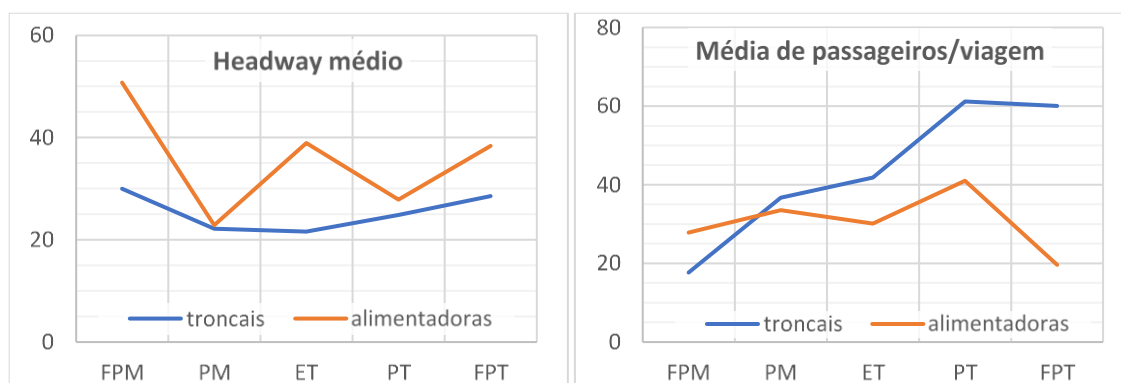
No que se refere à média de passageiros por viagem, as linhas alimentadoras apresentaram um índice de 31 e as troncais de 47.

A frequência de atendimento (viagens ofertadas por um período de tempo) é um dos principais fatores de qualidade do transporte público urbano, pois afeta diretamente o tempo de espera para os usuários que não conhecem os horários de passagem da linha e chegam aleatoriamente aos locais de parada (FERRAZ e TORRES, 2004).

Assim, embora ambos sistemas apresentem 37 partidas em média, quando se faz a análise sob a óptica do usuário, isto é, calculando o *headway* médio, ponderado pela quantidade de passageiros por linha, observa-se um maior espaçamento entre as viagens das alimentadoras. Enquanto as partidas das troncais ocorrem a cada 27 minutos, as das alimentadoras ocorrem a cada 34 minutos.

Os gráficos da Figura 11 evidenciam a diferença entre os dois tipos de serviço ao longo do dia. No primeiro gráfico, nota-se um aumento do *headway* do serviço alimentador nos períodos fora pico (FPM, EP e FPT), com variações da ordem de 20 minutos. O mesmo não é observado no serviço troncal, em que a frequência é mais constante. Quanto ao número de passageiros por viagem, a diferença entre o serviço troncal e alimentador aumenta ao longo do dia com uma queda significativa no valor das alimentadoras após as 20:00h (período FPT).

Figura 11: Gráficos de variação: headway, passageiros/viagem e quantidade de viagens



Fonte: Adaptado de SETOP 2018, dados SGTM.

Outro importante aspecto possível de se analisar nas tabelas acima é a heterogeneidade existente entre as linhas, tanto no conjunto das troncais quanto no das alimentadoras. Especificamente no segundo grupo, a linha 3691 apresenta baixa eficiência transportando apenas 19 passageiros/viagem em média, chegando a 15 passageiros/viagem no período de entre pico.

Mesmo a linha com maior eficiência, a 3711, apresenta um valor reduzido de 41 passageiros/viagem, considerando que os veículos utilizados nas alimentadoras têm capacidade entre 70 e 80 passageiros.

No que se refere à frequência de viagens, o *headway* varia de 15 a 90 minutos no pico da tarde, refletindo em um tempo de espera médio de até 45 minutos para os passageiros que aguardam as alimentadoras. Nesses casos, quando ainda

não há sincronismo entre a chegada de uma linha troncal ao terminal e a partida de uma alimentadora, pode haver espera de até 90 minutos para alguns passageiros (quando uma linha alimentadora parte pouco antes da chegada de uma linha troncal).

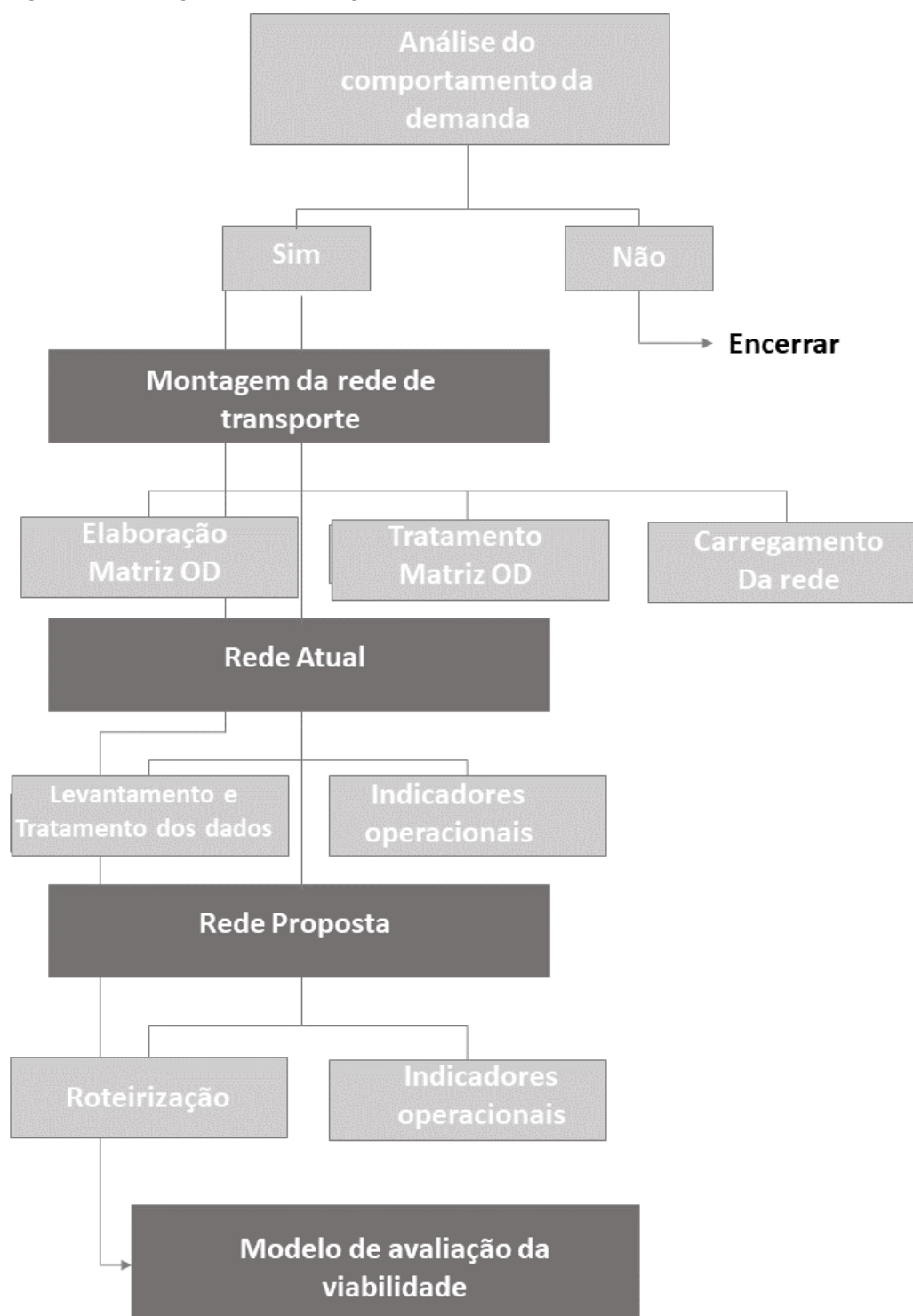
4 METODOLOGIA

Com base na proposta de estudo, para alcançar os resultados esperados, este trabalho seguirá a seguinte sequência de processos metodológicos:

- Análise do comportamento da demanda;
- Montagem da rede de transporte: elaboração da Matriz Origem e Destino, tratamento da Matriz Origem e Destino, cálculo dos embarques e desembarques de passageiros por ponto.
- Estudo da rede atual: levantamento e tratamento de dados e cálculo dos indicadores operacionais;
- Rede proposta: roteirização e cálculo dos indicadores operacionais;
- Modelo de avaliação da viabilidade técnica.

Na Figura 12 é apresentado o fluxograma geral da metodologia proposta. O fluxograma é simplificado, pois não apresenta as etapas internas aos modelos. Nos itens seguintes cada um dos processos, listados anteriormente e esquematizados no fluxograma, é descrito com maior detalhe.

Figura 12: Fluxograma metodológico.



Fonte: Elaboração própria, 2021.

4.1 Análise do comportamento da demanda

Para avaliar se a rede estudada é uma candidata a operar no transporte sob demanda, e não apenas com uma rede especial na faixa horária indicada, é

preciso avaliar se o comportamento da demanda. É preciso que ela oscile ao longo dos dias da semana, justificando um sistema de operação personalizável.

4.2 Montagem da rede de transporte

Esta etapa metodológica consiste na montagem da base de dados da área de influência da rede de ônibus, utilizando o *software* TransCAD. A rede é composta pelos seguintes elementos:

- Base viária: é a rede viária é composta por links do sistema viário, neles possuem informações de velocidade operacional do sistema de transporte;
- Rede de transporte com todas as linhas que operam no terminal, os itinerários estão em conformidade com o período da bilhetagem eletrônica.

Além disso, nesse item da metodologia serão realizados:

- Coleta de dados do Sistema de Bilhetagem Eletrônica;
- Obtenção da Matriz Origem e Destino;
- Tratamento dos dados da Matriz Origem e Destino;
- Cálculo do embarque e desembarque por ponto de parada.

4.3 Rede atual

Este item abordará um estudo da rede operante na data dos dados obtidos de Bilhetagem Eletrônica, na faixa horária selecionada para verificar e a mesma atende pré requisitos para operar no transporte público sob demanda; são eles: flutuação da demanda, extensão dos itinerários e aferição da quantidade de passageiros transportados por veículo.

Serão calculados dados operacionais, que estimem o custo para o operador e para o usuário, além disso será estimada a emissão do gás do efeito estufa CO₂ a fim de medir seu impacto ao meio ambiente. Com os dados trabalhados será possível avaliar a eficiência do serviço oferta, do ponto de vista da operação e do conforto ao usuário.

4.4 Rede proposta

Para a faixa horária avaliada, caso seja verificada a viabilidade de implantação do transporte público sob demanda será feita a preposição de uma

metodologia para a criação de rotas a roteirização e a avaliação dos custos operacionais.

4.4.1 Roteirização

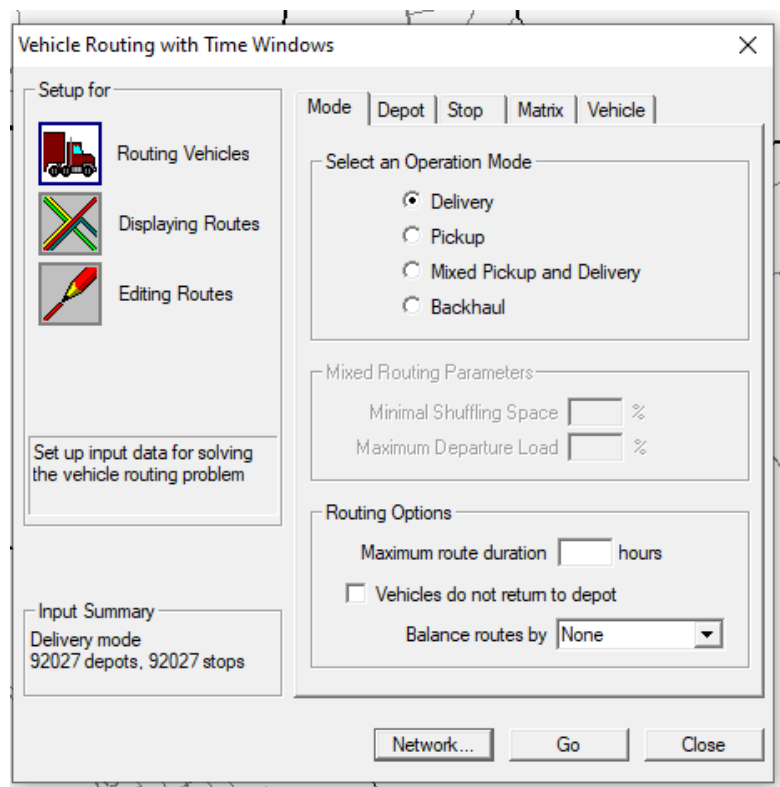
Feita a verificação dos requisitos que coloquem o Terminal Metropolitano de Sarzedo como candidato a em parte da sua operação ofertar o serviço de transporte sob demanda, serão propostas rotas baseadas nos dados de embarque e desembarque de passageiros coletados na Pesquisa Origem e Destino realizada por meio da Bilhetagem Eletrônica.

O processo de roteirização será realizado com o auxílio do *software* TransCAD, utilizando a ferramenta *Rout Logitics* que é uma ferramenta que engloba procedimentos logísticos que se aplicam a todos os modos de transporte; nela possui o modelo *Vehicle Routin*.

O modelo *Vehicle Routin* foi desenvolvido para resolver problemas de coleta de mercadorias e roteamento de entregas, a ferramenta é utilizada para preparar dados de entrada e a partir disso resolver o problema de roteamento, dando saídas tabulares e gráficas das rotas resultantes geradas.

Além disso, é possível incluir restrições de tempo em que as paradas podem ser feitas, permite imputar mais de um tipo de veículo na frota disponível, e que os veículos saiam de vários depósitos. É permitido também limitar o tempo máximo da rota. Essa ferramenta também é capaz de envolver problemas coletas e entregas em uma única rota. Para a solução encontrada pelo *software* TransCAD, as rotas podem ser editadas de forma iterativa, podendo adicionar ou remover paradas.

Figura 13: Janela "Geral" do modelo *Vehicle Routing*.



Fonte: Extraída do *software* TransCAD versão 4.5, 2021.

Como o enfoque do presente trabalho é o roteamento envolvendo passageiros, os pontos de coleta da ferramenta serão atribuídos como ponto de embarque e desembarque de passageiros (PED). E no caso terá apenas um depósito que será o terminal estudado.

A ferramenta apresenta alguns modelos de roteirização, estão eles com a sua definição de aplicação voltada para um processo envolvendo um terminal e os seus usuários. Sendo eles:

- *Delivery*: realiza apenas o transporte dos passageiros do terminal para o bairro;
- *Pickup*: realiza apenas o transporte dos passageiros do bairro para o terminal;
- *Mixed Pickup and Delivery*: rotas mistas onde é feita a coleta dos passageiros que vão do terminal bairro e do bairro para o terminal;

- *Backaul*: realiza a coleta de passageiros no sentido terminal bairro e no final da viagem fazer o inverso retornando ao terminal com os passageiros que desejam desembarcar no mesmo.

No Capítulo Estudo de Caso serão dadas as diretrizes para escolha dos parâmetros a serem imputados no *software* TransCAD a fim de otimizar as rotas.

4.4.2 Cálculo dos indicadores operacionais

Após o desenvolvimento da metodologia de preposição das rotas sob demanda, serão avaliados itens que medem o custo e o desempenho da rede. Eles serão os mesmos abordados no item para a rede atual, a fim de fazer comparações.

4.5 Modelo de avaliação da viabilidade

Neste item serão feitas comparações entre indicadores das redes atual e proposta a fim de medir os eventuais ganhos e comprovar a sua viabilidade técnica do ponto de vista do operador e do usuário. E assim, com uma melhoria na qualidade do serviço ofertado ter o potencial de atrair usuários para utilizarem o serviço.

5 ESTUDO DE CASO

Neste Capítulo será feita a montagem da rede de transporte de do Terminal Metropolitano de Sarzedo, operante no período dos dados de recebidos de Bilhetagem Eletrônica, bem como a obtenção de tratamento de dados da Matriz Origem e Destino para gerar os dados de embarque e desembarque de passageiros.

Além disso, serão avaliados os dados operacionais e os indicadores da rede de transporte operante no Terminal Metropolitano de Sarzedo, para que seja avaliar parâmetros para que seja justificável a implantação da oferta do transporte público coletivo sob demanda como parte da oferta de transporte do terminal.

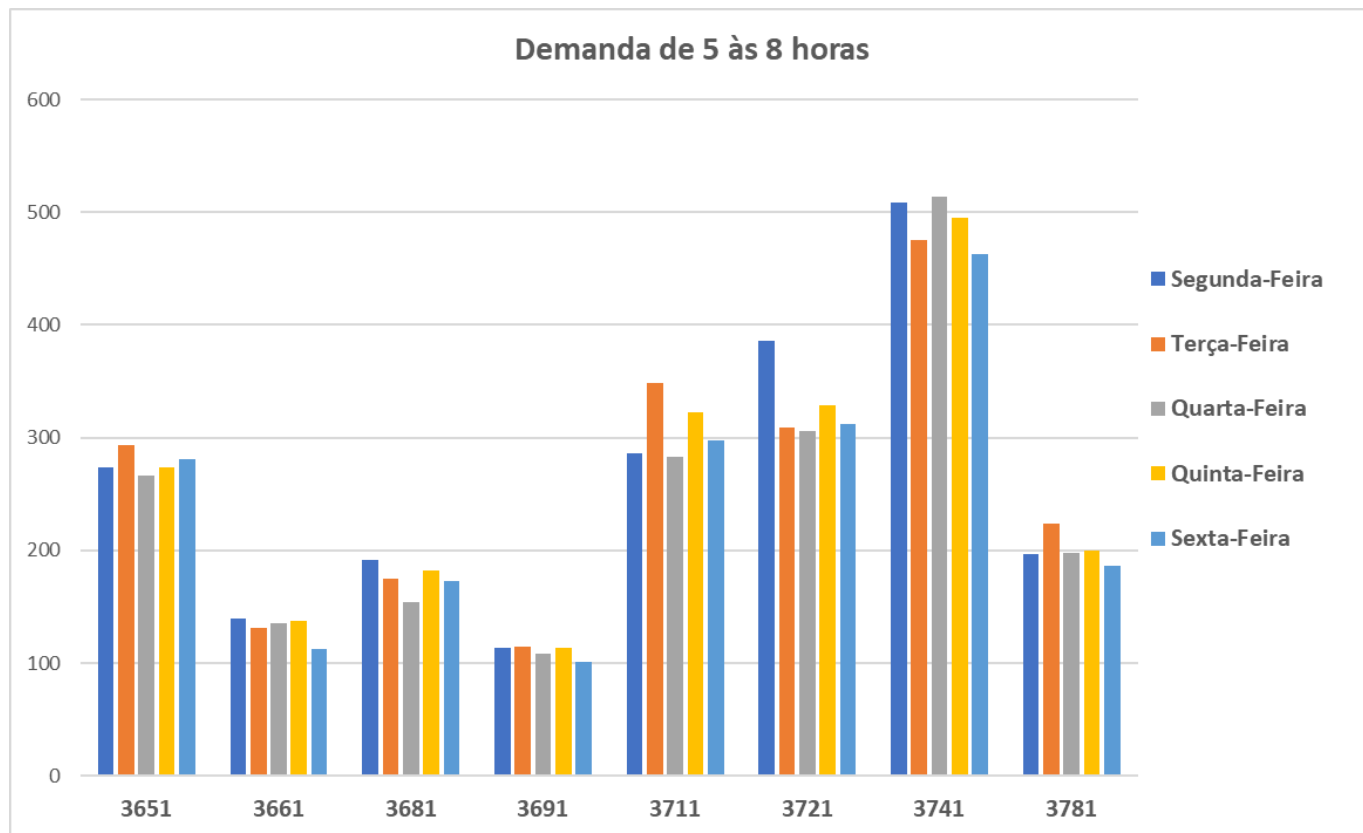
5.1 Avaliação do comportamento da demanda

Um dos fatores que justifica e viabiliza uma operação flexível como o transporte coletivo sob demanda é a flutuação da demanda ao longo da semana, pensando nisso foi feita uma análise do comportamento da demanda ao longo dos dias da semana.

As análises foram feitas em todas as linhas alimentadoras que estavam em operação no Terminal Metropolitano de Sarzedo, avaliando uma semana de operação no período de 18 a 24 de março de 2018.

Os resultados encontram-se no Gráfico 1 a seguir, sendo gerados na faixa horária de 5 às 8 horas; devido ao tipo de integração do terminal, os usuários provenientes de linhas troncais, não precisam validar a sua entrada na linha, por este motivo a análise foi feita o período da manhã.

Gráfico 1: Demanda alimentadoras por dia da semana.



Fonte: Adaptado de SETOP 2018, dados SGTM.

De acordo com as análises percebe-se uma flutuação da demanda ao longo da semana considerável nas linhas que alimentam o Terminal Metropolitano de Sarzedo.

Fator que as coloca como candidatas a operarem sob demanda nesta faixa horária, uma vez que a sua demanda varia, podendo assim justificar uma flexibilização da oferta ao longo dos dias da semana. No próximo item serão abordados aspectos da oferta de viagens.

5.2 Montagem da rede de transporte

Para subsidiar a metodologia de preposição de uma rede sob demanda são precisos dados que para que o sistema de transporte seja analisado, são eles arquivos georreferenciados da rede, a base viária, onde possui dados de *links* de velocidade das vias, direção dos *links* e todo o sistema viário, nos arredores do Terminal Metropolitano de Sarzedo. A Figura 14 mostra parte da tabela de atributos da base viária e seus respectivos campos, gerada no *software* TransCAD.

Figura 14: Tabela de atributos base viária.

ID	Length	Dir	[ID:1]	[LENGTH:1]	[DIR:1]	UF	MUNICIPIO	CODMUN	TIPO
67353	0.17	0	11 74693000000000			0 MG	SARZEDO	316553	RUA
67354	0.02	0	432 18408000000000			0 MG	SARZEDO	316553	RUA
67355	0.07	0	668 71543000000000			0 MG	SARZEDO	316553	AVENIDA
67356	0.11	0	209 10104000000000			0 MG	SARZEDO	316553	RUA
67357	0.21	0	396 09763000000000			0 MG	SARZEDO	316553	RUA
67358	0.18	0	431 84759000000000			0 MG	SARZEDO	316553	RUA
67359	0.03	0	207 28046000000000			0 MG	SARZEDO	316553	RUA
67360	0.08	0	208 75922000000000			0 MG	SARZEDO	316553	RUA
67361	0.05	0	669 57388000000000			0 MG	SARZEDO	316553	AVENIDA
67362	0.12	0	212 16933000000000			0 MG	SARZEDO	316553	RUA
67363	0.09	0	665 85013000000000			0 MG	SARZEDO	316553	AVENIDA
67364	0.03	0	666 25349000000000			0 MG	SARZEDO	316553	AVENIDA
67365	0.01	0	667 13517000000000			0 MG	SARZEDO	316553	AVENIDA
67366	0.01	0	180 09521000000000			0 MG	SARZEDO	316553	
67367	1.30	0	183 03892000000000			0 MG	SARZEDO	316553	RODOVIA
67368	0.16	0	553 59066000000000			0 MG	SARZEDO	316553	RUA
67369	0.34	0	639 40482000000000			0 MG	SARZEDO	316553	RUA
67370	0.39	0	686 90496000000000			0 MG	SARZEDO	316553	ALAMEDA
67371	0.17	0	688 71700000000000			0 MG	SARZEDO	316553	ALAMEDA

Fonte: Extraída do software TransCAD versão 4.5, 2021.

Outro arquivo georreferenciado essencial é o *route system*, ele contém o todas as linhas de ônibus que compõem a rede do Terminal Metropolitano de Sarzedo, nele além do itinerário, conta uma tabela de atributos com dados de tarifa, extensão, tempo de viagem, *headway*, entre outros. A Figura 15 mostra parte da tabela de atributos do *route system* e seus respectivos campos, gerada no software TransCAD.

Figura 15: Tabela de atributos *route system*.

entadoras									
ID	ROUTE_ID	ROUTE_NAME	ROUTE	SHORT_NAME	LONG_NAME	MODE			
21	1097 2 3651	01-F-1 2 3651 01	3651		BAIRRO BRASÍLIA/TERMINAL SARZEDO				45
22	1098 2 3651	01-R-1 2 3651 01	3651		BAIRRO BRASÍLIA/TERMINAL SARZEDO				45
23	1099 2 3661	01-F-1 2 3661 01	3661		SANTO ANTÔNIO/TERMINAL SARZEDO				45
25	1101 2 3681	01-F-1 2 3681 01	3681		BAIRRO BRASILIA VIA ANTENAS/2ª SEÇÃO/TERMINAL SA				45
26	1102 2 3681	01-R-1 2 3681 01	3681		BAIRRO BRASILIA VIA ANTENAS/2ª SEÇÃO/TERMINAL SA				45
27	1103 2 3691	01-F-1 2 3691 01	3691		BAIRRO PLANALTO VIA VERA CRUZ/TERMINAL SARZEDO				45
28	1104 2 3691	01-R-1 2 3691 01	3691		BAIRRO PLANALTO VIA VERA CRUZ/TERMINAL SARZEDO				45
29	1105 2 3711	01-F-1 2 3711 01	3711		BAIRRO ANCHIETA/TERMINAL SARZEDO				45
30	1106 2 3711	01-R-1 2 3711 01	3711		BAIRRO ANCHIETA/TERMINAL SARZEDO				45
31	1107 2 3721	01-F-1 2 3721 01	3721		MÁRIO CAMPOS VIA FUNIL/TERMINAL SARZEDO				45
32	1108 2 3721	01-R-1 2 3721 01	3721		MÁRIO CAMPOS VIA FUNIL/TERMINAL SARZEDO				45
33	1111 2 3741	01-F-1 2 3741 01	3741		BAIRRO TANGARÁ/TERMINAL SARZEDO				45
34	1112 2 3741	01-R-1 2 3741 01	3741		BAIRRO TANGARÁ/TERMINAL SARZEDO				45
24	1100 2 3661	01-R-1 2 3661 01	3661		SANTO ANTÔNIO/TERMINAL SARZEDO				45
35	1113 2 3781	01-F-1 2 3781 01	3781		RESIDENCIAL MASTERVILLE/TERMINAL SARZEDO				45
36	1114 2 3781	01-R-1 2 3781 01	3781		RESIDENCIAL MASTERVILLE/TERMINAL SARZEDO				45

Fonte: Extraída do software TransCAD versão 4.5, 2021.

Outro dado essencial para desenvolver o estudo são os relatórios da Bilhetagem Eletrônica e os dados de GPS dos ônibus, eles contêm dados de validação de cartão de transporte, dados da posição geográfica, data e hora de cada validação.

5.2.1 Matriz Origem e Destino

As Pesquisas de Origem e Destino (Pesquisas OD) são as principais fontes de informação para o Planejamento dos Transportes. Os dados coletados auxiliam na análise dos sistemas e na formulação de modelos matemáticos que permitem prever o comportamento futuro da demanda por transportes. Assim, se torna possível planejar e programar o desenvolvimento de um Sistema de Transportes

A partir das Pesquisas OD é possível gerar uma matriz Origem e Destino (OD), a gerada para este trabalho seguiu a metodologia proposta em Guerra (2011), através dos dados do Sistema de Bilhetagem Eletrônica (SBE), onde admite que os locais de origem e de destino dos passageiros são inferidos utilizando-se de forma combinada, os dados do SBE e a rede do sistema de ônibus representada em um SIG.

Os dados de SBE utilizados foram de 2018, para se obter a matriz OD de um dia típico, os dados oriundos da Pesquisa Origem e destino encontram-se na Figura 16, onde temos como campos de informações: data, hora de início e fim da viagem, linha de origem e linha de destino, hora do uso no validador, faixa horária e entre outros.

Figura 16: Pesquisa Origem e destino Sarzedo 2018.

DATE	DIR	FONT	FXHR	HAS_GPS	H_FIM
2018-04-05	2	Metropolitano	20	1	05/04/2018 20:56:30
2018-04-05	1	Metropolitano	21	1	05/04/2018 21:18:08
2018-04-05	1	Metropolitano	20	1	05/04/2018 20:19:47
2018-04-05	1	Metropolitano	23	1	05/04/2018 23:48:34
2018-04-05	2	Metropolitano	20	0	05/04/2018 20:50:48
2018-04-05	1	Metropolitano	21	1	05/04/2018 21:18:08
2018-04-05	1	Metropolitano	21	1	05/04/2018 21:18:08
2018-04-05	1	Metropolitano	0	1	05/04/2018 00:27:51

Fonte: Extraída do software TransCAD versão 4.5, 2021.

Com isso, é possível gerar a Matriz OD do deslocamento da área de estudo Sarzedo, a Figura 17 mostra parte da matriz gerada. Ela representa dados do sistema do dia 05/04/2018.

Figura 17: Matriz OD de Sarzedo 2018

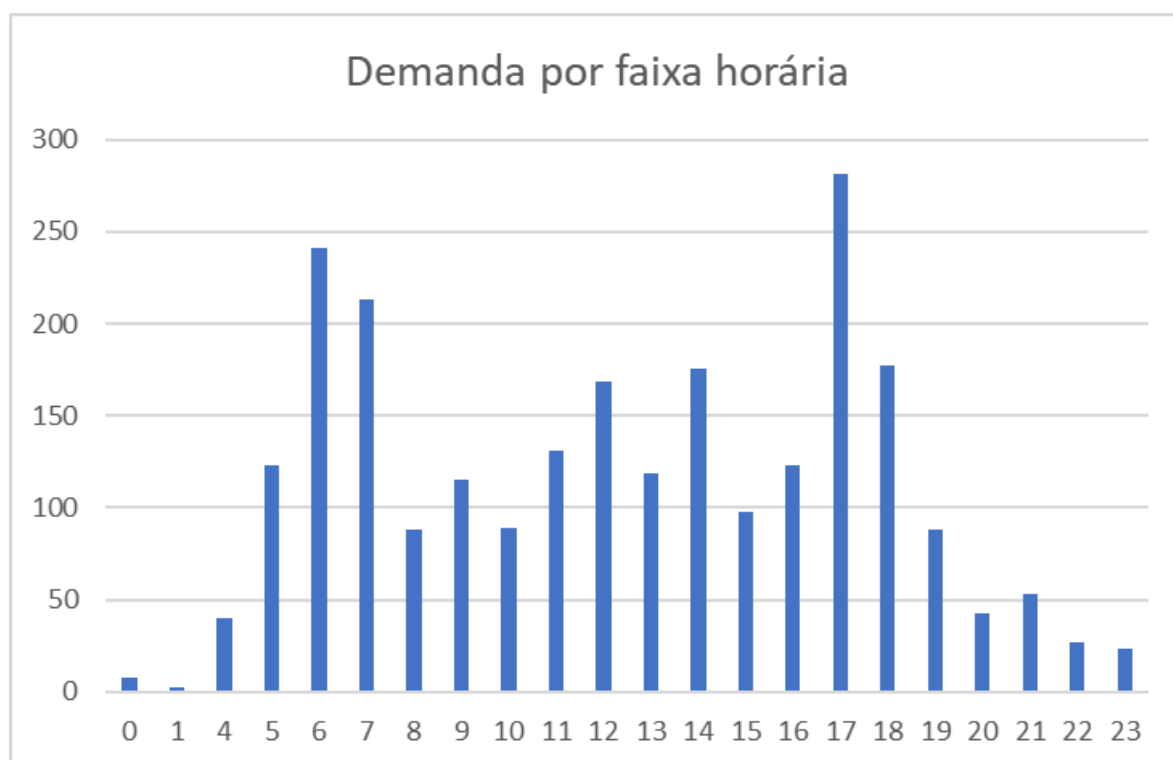
	44597	44599	44631	44637	44640	44642	44650	44657	Sum
44657	--	--	--	--	--	--	--	--	3.36
44692	--	--	--	--	--	--	--	--	2.02
44694	--	--	--	--	--	--	--	--	2.02
44795	--	--	--	--	--	--	--	--	6.72
44798	--	--	--	--	--	--	--	--	8.59
44803	--	3.41	--	--	--	--	--	--	3.41
44826	--	--	--	--	--	--	--	1.55	2.99
44855	--	--	--	--	--	--	--	--	2.08
44879	--	--	--	--	--	--	--	--	1.65
44940	--	--	--	--	--	--	--	--	5.24
44947	--	--	--	--	--	--	--	--	3.02
44949	--	--	--	--	--	--	--	--	2.07
45053	--	--	--	--	--	--	--	--	4.03
45054	--	--	--	--	--	--	--	--	6.06
45095	--	--	--	--	--	--	--	--	1.85
45101	--	--	--	--	--	--	--	--	4.77
45110	--	--	--	--	--	--	--	--	3.01
45141	--	--	--	--	--	--	--	--	1.13
78537	--	--	--	--	--	--	--	--	2.02
78548	--	--	--	--	--	--	--	--	1.13
78702	--	--	--	--	--	--	--	--	6.50
78712	--	--	--	--	--	--	--	--	1.51
78749	--	--	--	--	--	--	--	--	5.00
78838	--	--	--	--	--	--	--	--	4.04
Sum	1.71	5.49	3.55	3.30	2.02	3.55	3.11	30.34	815.27

Fonte: Extraída do software TransCAD versão 4.5, 2021.

5.2.2 Tratamento da Matriz Origem e Destino

Para a realização das próximas etapas é preciso fazer a seleção da faixa horária a ser estudada, para isto foram analisados dados da demanda por hora ao longo de um dia útil. Os dados da SBE são de uma semana de março de 2018, do dia 18 ao 24. O Gráfico 2 apresenta a demanda por faixa horária do dia 22/03/2018.

Gráfico 2: Demanda por faixa horária.



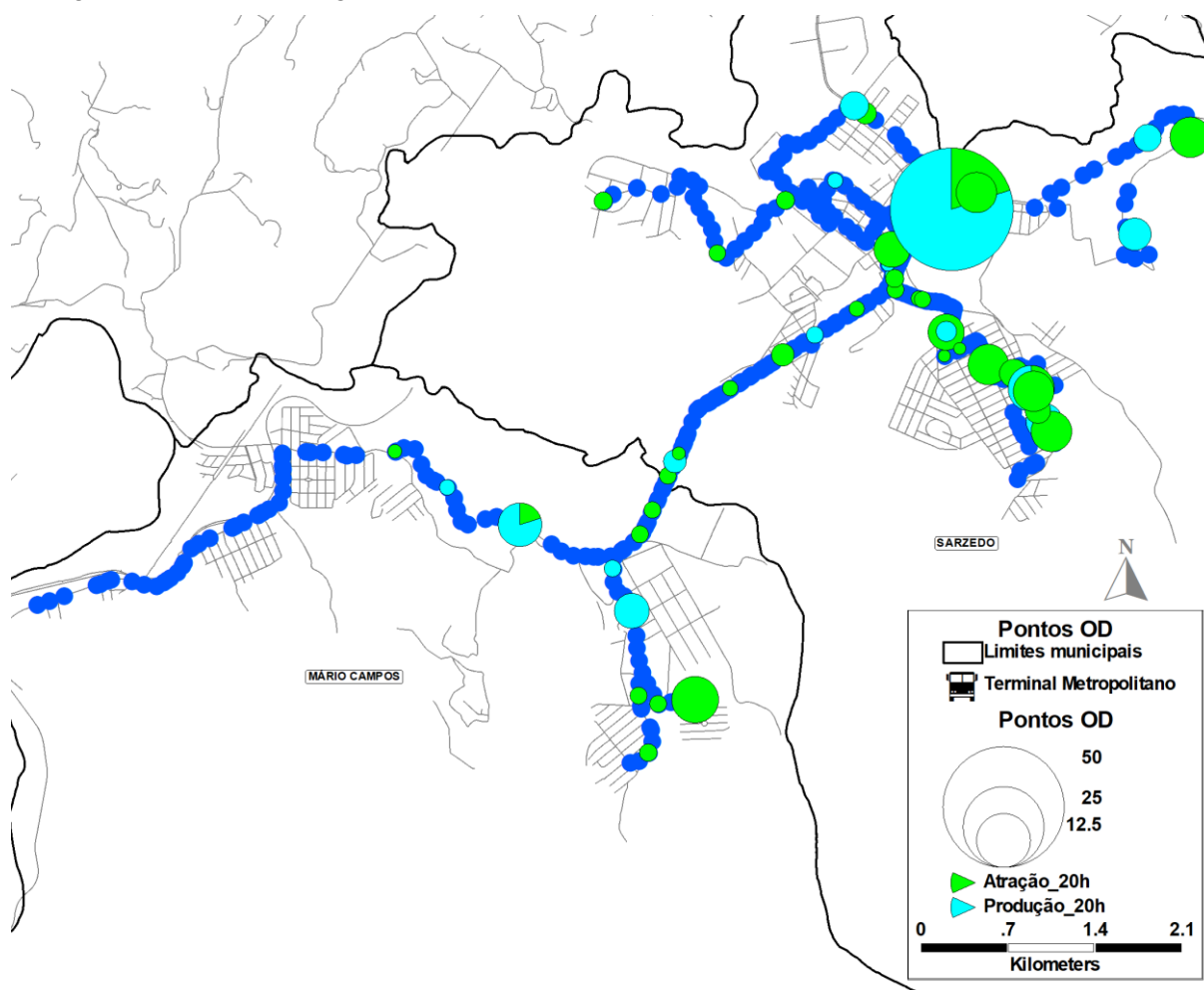
Fonte: Adaptado de SETOP 2018, dados SGTM.

Analisando o gráfico acima, é possível verificar uma redução na demanda na faixa horário de 20 às 00 horas, sendo assim, pelos critérios de baixa demanda e visando pegar os deslocamentos de última milha, esse período foi escolhido como análise de viabilidade de operação com transporte público sob demanda que se seguirá no seguinte estudo.

Tendo a faixa horária a ser trabalhada foi feito o procedimento de transformar as coordenadas geográficas oriundas da Pesquisa OD nos nós da base viária. Sendo assim cada par Origem/Destino foi associado à um nó. O que servirá de subsídio para depois fazer a roteirização.

O mapa seguinte mostra em cada ponto azul, uma Origem ou Destino dos usuários do terminal, sendo feita uma análise de atração e produção de viagens para as viagens na faixa horária das 20 horas.

Figura 18: Pontos de origem e destino.

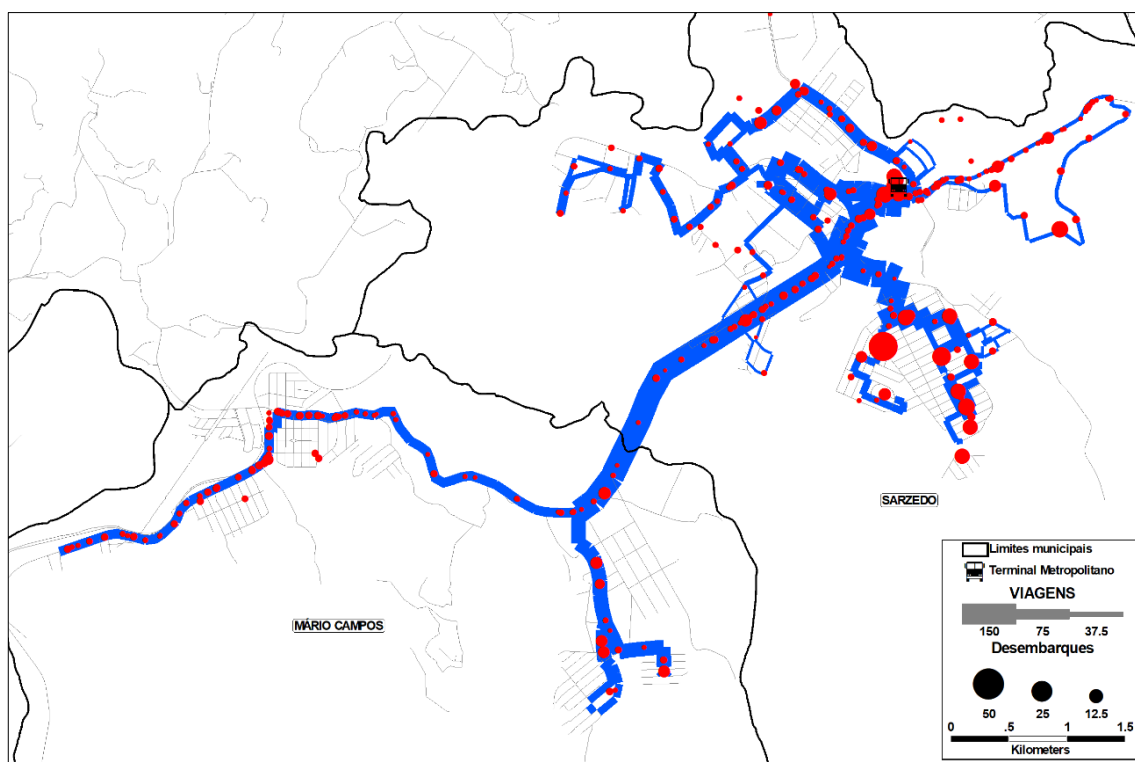


Fonte: Elaboração própria, 2021.

5.2.3 Carregamento da rede

Com os dados de embarque e desembarque gerados na Pesquisa OD, foi possível gerar o mapa com a bacia de alimentação do Terminal Metropolitano de Sarzedo, onde os locais de desembarque de passageiros na bacia de alimentação do terminal são representados pelos pontos vermelhos. Especialmente, a distribuição da demanda por transporte é muito irregular e pulverizada, conforme mostrado no mapa da Figura 19.

Figura 19: Oferta de viagens das alimentadoras e locais de desembarque dos passageiros.



Fonte: Elaboração própria, 2021.

Na metodologia de obtenção da Pesquisa OD pelo Sistema de Bilhetagem Eletrônica, utilizada neste trabalho, há uma pequena deficiência, pois nesse modelo os usuários que por algum motivo demorarem a validar a sua entrada o embarque pode ser definido em um local errado.

E por isto, muitas vezes os destinos e as origens acabam sendo computados nos arredores do terminal, o que acaba desviando um pouco. Para tentar minimizar essa carência da metodologia da Pesquisa OD utilizada, foi feito um raio de 700 metros em torno do terminal onde os usuários que estão nele, terão seu embarque e desembarque definidos como sendo no terminal. Foi atribuída essa distância em função do viário e da quantidade de ruas que entram e saem da região.

A Tabela 3 mostra dos dados obtidos na Matriz OD e mostra o tipo de deslocamentos, de acordo com a sua categoria em relação ao terminal estudado. Os dados são referentes aos pares Origem/Destino do dia de operação gerado pela Matriz OD. Os deslocamentos analisados foram os trechos do terminal para os bairros somente.

Tabela 3: Tipo de deslocamentos.

Tipo	Total	Porcentagem
Viagens com destino no terminal	83	10%
Viagens com origem no terminal	652	80%
Viagens fora do terminal	64	8%
Viagens terminal-terminal	15	2%

Fonte: Elaboração própria, 2021.

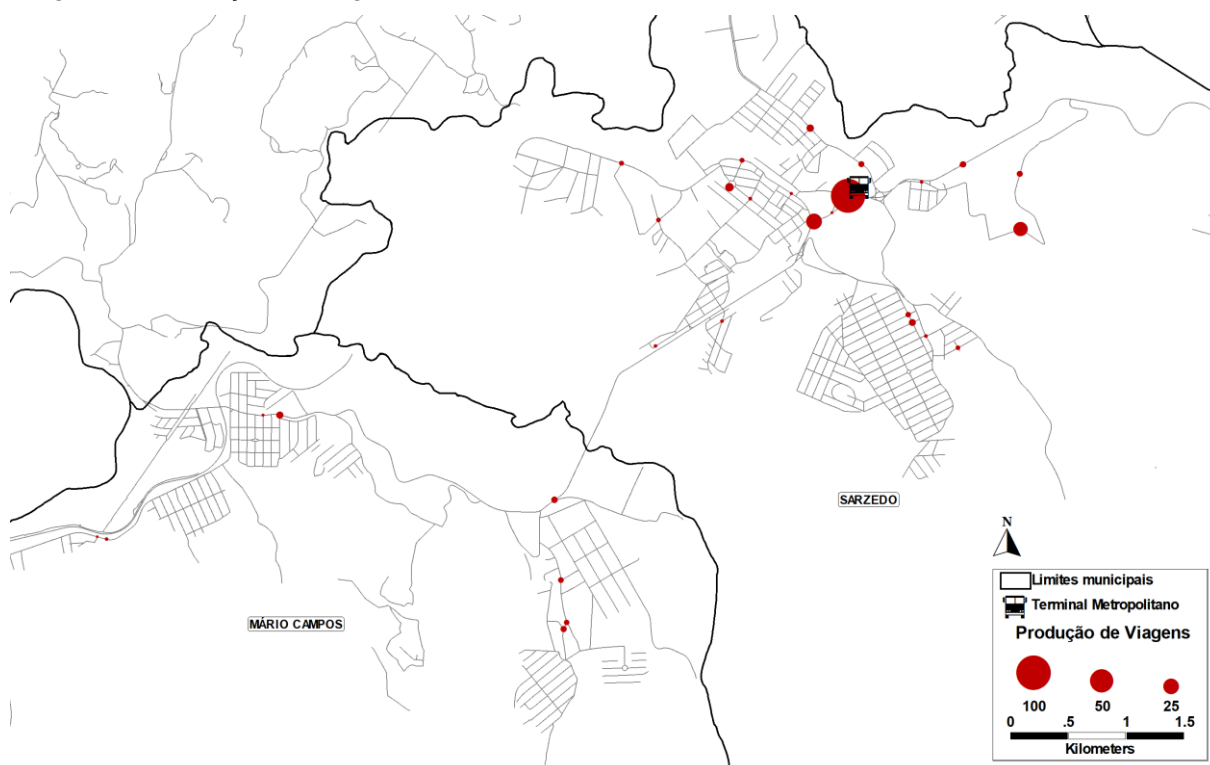
A categoria **Viagens com destino no terminal**, são as viagens com embarques em qualquer ponto da bacia de alimentação e desembarques no terminal ou dentro do raio de 700 metros. A categoria **Viagens com origem no terminal** são as viagens com embarque dentro do raio de 700 metros e desembarque fora, porém dentro da área de alimentação.

As **Viagens fora do terminal**, não possuem embarque ou desembarque dentro do raio de 700 metros do terminal, e as **Viagens terminal-terminal** tiveram embarque e desembarque no raio de 700 metros e, portanto, não possuem um par origem/destino determinado.

Para os deslocamentos **Viagens fora do terminal** optou-se por alocar a origem ou o destino deles para o terminal de Sarzedo. Porém, os deslocamentos **Viagens terminal-terminal** não puderam ser incluídos no modelo executado, sendo assim o mesmo abrange 98% de todos os deslocamentos apurados na Matriz OD da bacia de alimentação do terminal.

Com a definição e obtenção do modelo adotado, foi possível localizar os polos de atração e produção de viagens na faixa horário escolhida para análise de 20 às 00 horas. A Figura 20 mostra a produção de viagens neste horário, o que é esperado de uma rede de alimentação, onde elas se originam em sua maioria no terminal e destinam-se aos bairros.

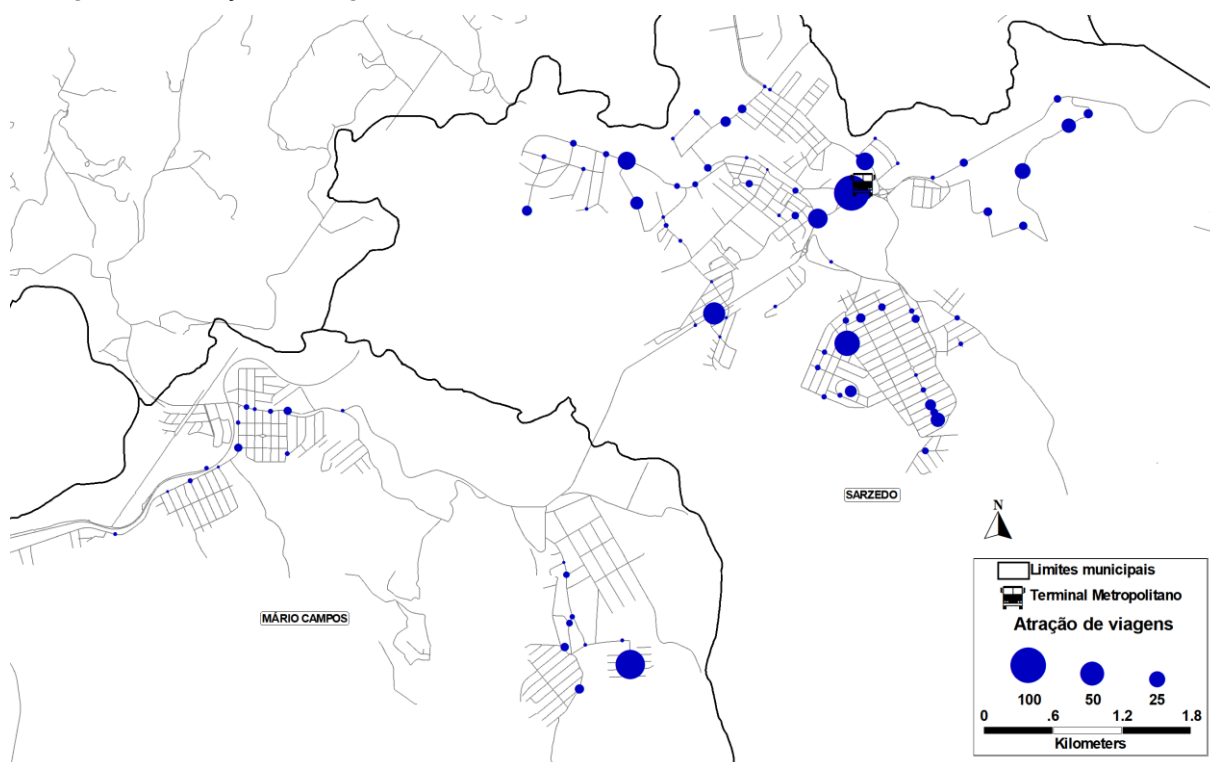
Figura 20: Produção de viagens 20h-00h.



Fonte: Elaboração própria, 2021.

A Figura 21 ilustra os pontos de atração de viagens, ou seja, os destinos e é possível observar um comportamento heterogêneo nesses pontos, e ainda sim possui um grande número de destinos no terminal pois ele é o ponto onde concentram-se todos os destinos das viagens que seguirão para as linhas troncais.

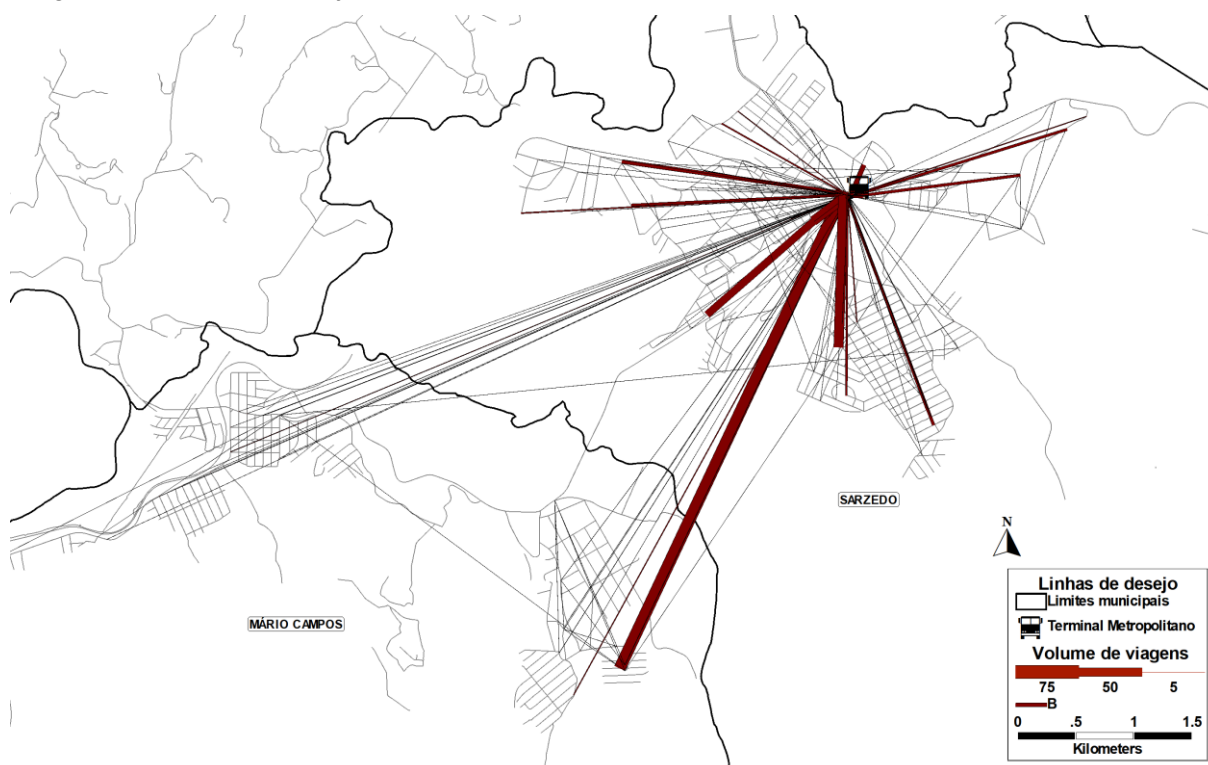
Figura 21: Atração de viagens 20h-00h.



Fonte: Elaboração própria, 2021.

A Figura 22 ilustra as linhas de desejo, em que a sua espessura representa o volume de viagens atraídas, o terminal possui majoritariamente a maior atração de viagens, mas é possível notar uma forte atração em uma região de Mário Campos e em alguns pontos em Sarzedo, tendo uma distribuição heterogênea.

Figura 22: Linhas de desejo 20h-00h.



Fonte: Elaboração própria, 2021.

É importante ressaltar que a faixa horária adotada na obtenção das linhas de desejo foi a de 20 às 00 horas. O próximo item fará um apanhado das características de oferta e demanda da rede operante no Terminal Metropolitano de Sarzedo.

5.3 Rede atual

De acordo com o tema abordado no item de Revisão bibliográfica, o transporte público coletivo de passageiros vem sofrendo redução de demanda ao longo dos últimos anos. De acordo com o Anuário da NTU (2017) a redução da demanda do TPCU de passageiros ao longo de duas décadas foi de 35,6%.

O transporte sob demanda pode ser utilizado como ferramenta complementar a rede convencional existente, auxiliando na melhoria da qualidade da oferta, podendo atuar auxiliando neste cenário de redução de demanda.

Para que seja justificável a operação de uma oferta de serviço no sob demanda é preciso que ele atenda alguns requisitos, para se tornar viável. Portanto, nos itens a seguir, serão avaliados outros fatores que caracterizam uma rede a oferta do transporte coletivo sob demandas e torne viável.

Pensando na viabilidade desta proposta de oferta, as análises foram feitas na faixa horária de 20 até as 24 horas como abordado anteriormente, sendo um período fora do pico em que o intervalo de oferta das linhas é menor. Além disto, a análise se dará nos deslocamentos finais, ou seja, o destino final dos usuários, a última milha.

Em sistemas tronco-alimentados, apesar de serem uma boa alternativa para melhorar a mobilidade urbana nos grandes centros, eles apresentam uma lacuna na realização da última milha, que é o trecho final da viagem (ISODA, 2013). Pensando nisto, o estudo deste trabalho se baseará nesses deslocamentos.

5.3.1 Levantamento e tratamento de dados atuais

Para estudar os deslocamentos de última milha da viagem dos usuários do Terminal de Metropolitano de Sarzedo, é importante que o serviço ofertado no período analisado seja estudado. Afim de medir o desempenho de cada linha - foram obtidos os dados de oferta no período de análise. A Tabela 4 apresenta os resultados, para um dia útil da semana de análise.

Tabela 4: Oferta das linhas alimentadoras.

Linha	Nº de Viagens
3651	10
3661	5
3681	3
3691	2
3711	7
3721	5
3741	8
3781	6

Fonte: Adaptado de SETOP 2018, dados SGTM.

Para medir a oferta da rede do terminal estudado foram contabilizadas as viagens de 20 às 00 horas de cada linha alimentadora.

Para Ladeira (2014), outro importante indicador de nível de serviço sentido pelos usuários é o tempo. A Tabela 5 mostra o tempo médio de viagem de cada linha alimentadora do Terminal Metropolitano de Sarzedo.

Tabela 5: Tempos de viagem.

Linha	Tempo de Viagem (minutos)
3651	36
3661	24,4
3681	51,8
3691	57,4
3711	56
3721	49,75
3741	40,2
3781	27

Fonte: Adaptado de SETOP 2018, dados SGTM.

É importante ressaltar que este tempo não leva em consideração o tempo que o usuário fica aguardando o ônibus no terminal, este não é possível determinar uma vez que o usuário precisa computar a sua chegada no terminal, em decorrência do tipo de integração. O tempo média de viagem considerando todas as linhas é de 45 minutos.

A indicação do transporte público sob demanda se torna viável em redes com itinerário curtos, por isso, foi feita a análise da extensão das linhas alimentadoras do Terminal Metropolitano de Sarzedo. A Tabela 6 apresenta a extensão quilométricas dessas linhas.

Tabela 6: Extensão das linhas alimentadoras.

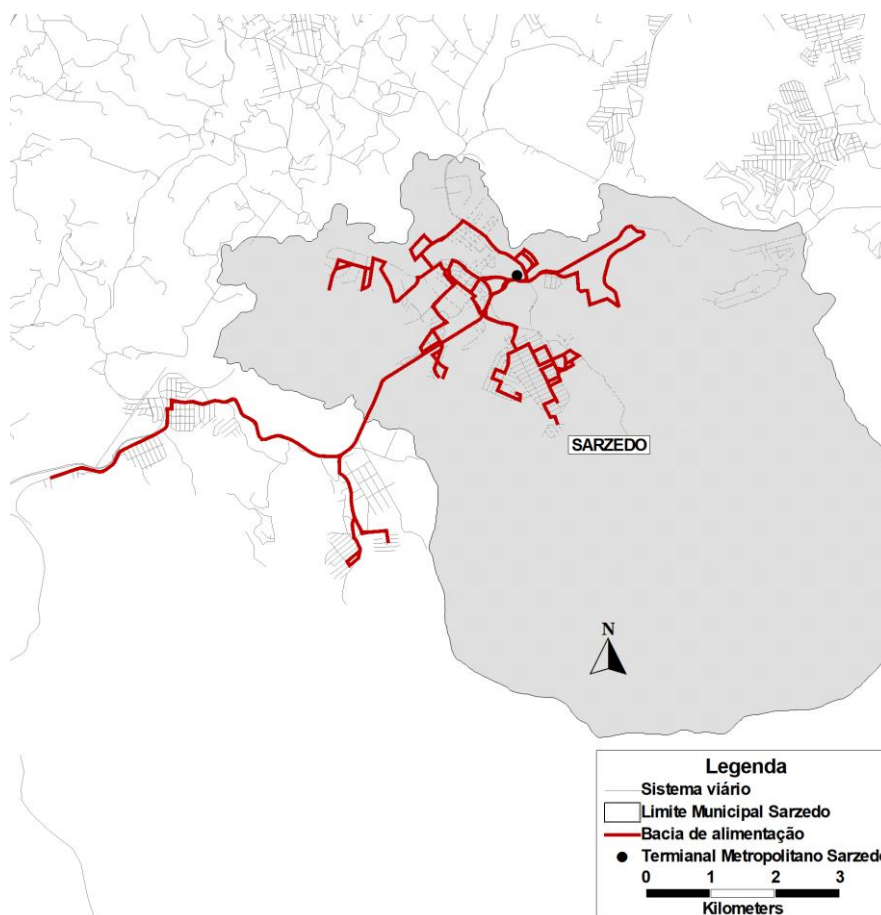
Linha	Extensão (km)
3651	11,13
3661	6,60
3681	13,20
3691	14,28
3711	14,60
3721	20,55
3741	14,10
3781	9,00

Fonte: Adaptado de SETOP 2018, dados SGTM.

Nota-se que a rede de alimentação possui linhas com itinerários curtos, com um trajeto médio de 13,70 km, coerentes com o porte da cidade Sarzedo e com

o de Mário campos, já que a rede também abrange essa cidade. A mostra os itinerários dessas linhas alimentadoras.

Figura 23: Rede e alimentadoras.



Fonte: Elaboração própria, 2021.

5.3.2 Cálculo dos indicadores operacionais

Neste item serão avaliados alguns indicadores de desempenho operacional da rede que alimenta o Terminal Metropolitano de Sarzedo, as análises serão de um dia de operação (22 de março de 2018 na faixa horária analisada). Para a contabilização da demanda utilizou-se os dados provenientes da pesquisa OD.

Esta avaliação é importante por esses indicadores servem de subsídio para tomada de decisões que representam aspectos estruturais, operacionais e econômicos da rede (COUTO, 2011).

Pensando nisto, a Tabela 7 mostra o desempenho da rede de acordo com os seguintes indicadores: passageiros por viagem (PV), passageiros por veículo

(PASS/VEIC), produção quilométrica (PQ), percurso médio diário (PMD) e índice de passageiros por quilômetro (IPK).

Tabela 7: Indicadores operacionais.

Hora	PV	PASS/VEIC	PQ	PMD	IPK
20	34,34	37,77	138,19	13,82	2,73
21	21,70	24,42	115,81	14,48	1,69
22	14,67	16,50	117,56	14,70	1,12
23	7,95	11,13	56,17	11,23	0,99
00	18,18	18,18	19,92	6,64	2,74
20 – 00	96,84	108	447,65	60,87	9,27

Fonte: Adaptado de SETOP 2018, dados SGTM.

Na faixa horária em análise 18 (dezoito) veículos operam, sendo eles do tipo Padron e Midiônibus, são veículos que possuem uma capacidade média de 75 e 65 passageiros respectivamente. A Tabela 8 apresenta a relação de veículos por linha e por tipo de categoria.

Tabela 8: Veículos em operação de 20 às 00.

Linha	Veículo	Tipo
3651	25123	Padron
3651	25117	Padron
3651	25895	Midiônibus
3651	25819	Padron
3651	25899	Midiônibus
3661	7057	Midiônibus
3661	16358	Midiônibus
3681	25123	Padron
3691	25483	Midiônibus
3711	25895	Midiônibus
3711	25078	Padron
3711	25029	Padron
3721	25896	Padron
3741	25119	Padron
3741	25789	Padron
3741	25898	Padron
3781	25288	Midiônibus
3781	25894	Midiônibus

Fonte: Adaptado de SETOP 2018, dados SGTM.

Para avaliar a eficiência da operação, mediu-se a capacidade disponível em cada hora da faixa horária estuda, somando a oferta de viagens com o número de lugares de cada veículo. Os resultados estão na Tabela 9 e representam os resultados apurados no dia 22/03/2018 de acordo com o relatório gerado no SGTM.

Tabela 9: Capacidade ofertada na rede.

Hora	Passageiros	Soma de Capacidade
20	378	784
21	195	662
22	132	669
23	56	506
0	55	251
Soma	815	2872

Fonte: Adaptado de SETOP 2018, dados SGTM.

O *headway* de uma linha de ônibus é um parâmetro operacional que avalia o desempenho da mesma, é o intervalo entre os veículos. Segundo Ladeira (2014) ele é um importante indicador de nível de serviço avaliado pelos usuários a Tabela 10 mostra o *headway* dessas linhas, na faixa horária analisada.

Tabela 10: Headway das linhas.

Linha	Headway (min)
3651	24
3661	48
3681	80
3691	120
3711	34
3721	48
3741	30
3781	40

Fonte: Adaptado de SETOP 2018, dados SGTM.

Mesmo sendo linhas com itinerários relativamente curtos, em sua maioria apresentam um *headway* muito elevado, em média 53 minutos. De maneira geral, os indicadores operacionais estão relativamente baixos mesmo para uma faixa horário fora do pico e que os veículos operam com uma ocupação baixa.

Os veículos que irão operar na rede proposta sob demanda, são vans com capacidade para 15 passageiros, pensando nisso, com a finalidade de checar que apenas a substituição por veículos de menor porte seria um suficiente para otimizar a rede atual. Foi feita uma análise de um cenário para medir os impactos na rede, caso seus veículos operacionais fossem substituídos pelas vans, a Tabela 11 apresenta os indicadores operacionais desse cenário.

Tabela 11: Indicadores operacionais: cenário com vans.

Hora	PV	PASS/VEIC	PQ	PMD	IPK
20,00	24,38	17,73	320,56	7,77	1,18
21,00	20,00	17,14	164,74	8,88	1,19
22,00	18,75	16,67	116,32	16,68	1,13
23,00	17,50	21,00	26,82	19,09	2,07
0,00	22,50	22,50	30,26	20,60	1,80
20 – 00	103,13	95,04	658,71	73,02	7,38

Fonte: Adaptado de SETOP 2018, dados SGTm.

Nos horários com maior demanda, 20 horas e 21 horas a rede precisaria de mais viagens devido a capacidade menor desses veículos tipo vans, aumentando a produção quilométrica da rede. Proporcionalmente o número de veículos teria que aumentar 127%. A Tabela 12, mostra o aumento percentual desses itens.

Tabela 12: Percentual de aumento dos indicadores.

PQ	Oferta de viagens	Veículos
32%	18%	127%

Fonte: Adaptado de SETOP 2018, dados SGTm.

Sendo assim, para solucionar os problemas de mobilidade do Terminal Metropolitano de Sarzedo, não seria suficiente apenas mudar o tipo de veículo, sendo preciso propor uma oferta do tipo sob demanda como uma das possíveis soluções.

5.3.3 Síntese dos resultados

Partindo da premissa de tornar a rede de transportes atual operante no Terminal Metropolitano de Sarzedo mais atrativa ao usuário, oferecendo um serviço com o menor tempo de espera e que seja responsivo às necessidades dos usuários.

Foram avaliados itens que são capazes de medir a qualidade dessa oferta, ou seja, o nível de serviço.

Esses indicativos foram avaliados para que seja justificável a operação do serviço sob demanda na última milha do trajeto dos usuários em complemento à rede tradicional existente.

As premissas de viabilidade de uma rede de transporte público sob demanda, para suprir as lacunas da tradicional ofertada são atendidas, uma vez que, há uma flutuação na demanda ao longo dos dias da semana. A bacia de alimentação da rede é pequena, ou seja, itinerários custos conseguem atender a mesma.

Além disso, a procura pelo serviço é baixa e a rede opera com veículos com baixa taxa de ocupação, mostrando que carros menores seriam suficientes para cobrir o atendimento da rede. Cabe ressaltar que a operação com veículos do tipo van reduziria os custos e a poluição.

Sendo assim, no próximo item será proposta uma rede de oferta do tipo sob demanda para o Terminal Metropolitano de Sarzedo.

5.4 REDE PROPOSTA

Neste item será proposto o modelo de roteirização para a operação do transporte público sob demanda para o Terminal Metropolitano de Sarzedo, cabe ressaltar que é uma rede complementar a tradicional e sua operação tem faixa horária definida e delimitada.

O tipo de oferta que será proposto é o modelo com paradas fixas e rotas flexíveis, que irão variar de acordo com a solicitação dos passageiros nos pontos de paradas pré-estabelecidos. Os itens seguintes abordaram o processo metodológico e os indicadores operacionais,

5.4.1 Roteirização

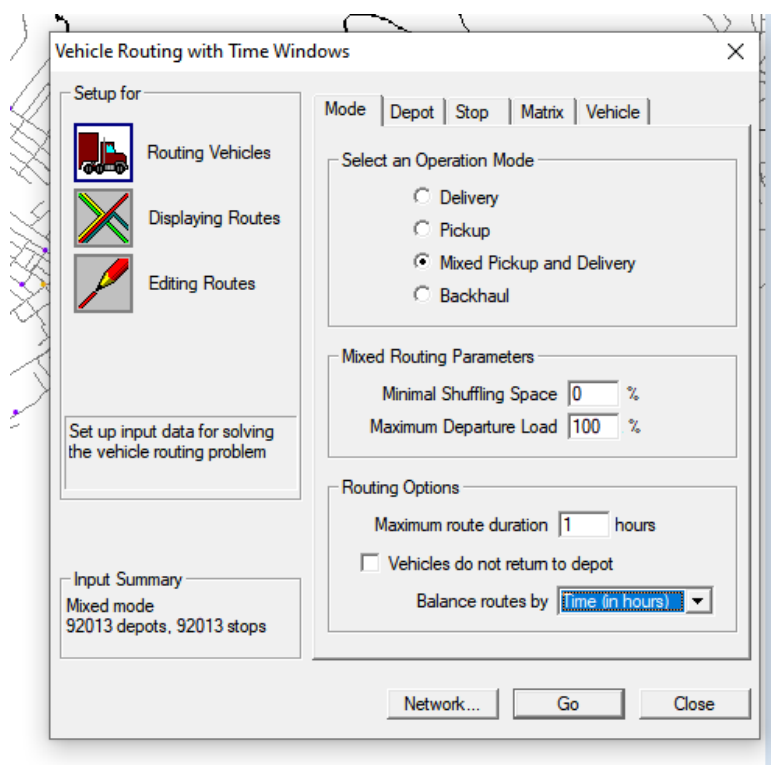
Como descrito no item da Metodologia, o processo de roteirização será feito no *software* TransCAD, utilizando uma ferramenta de logística. Foi adotado que o depósito seria o terminal e as paradas os PEDs.

Dentro os modelos disponíveis, foi escolhido o *Mixed Pickup and Delivery*, que funciona com rotas mistas onde é feita a coleta dos passageiros que vão do terminal bairro e do bairro para o terminal.

Para as informações de *Delivery* foram agregados dados do destino da Matriz OD, ou seja, foram unidos os nós da base viária com os pontos de atração de viagens. Para o *Pickup* no modelo adotado, foram agregados os dados de origem da Matriz OD, ou seja, foram unidos os nós da base viária com os pontos de produção viagens.

A Figura 24 mostra a janela inicial da ferramenta *Vehicle Routing*, neste primeiro item foi definidos o modelo a ser utilizado o o *Mixed Pickup and Delivery*, além disso foi definida a duração máxima das rotas como sendo uma hora e também é possível escolher um fator de balanceamento de rotas: distância, tempo ou número de paradas. As rotas serão balanceadas pelo tempo.

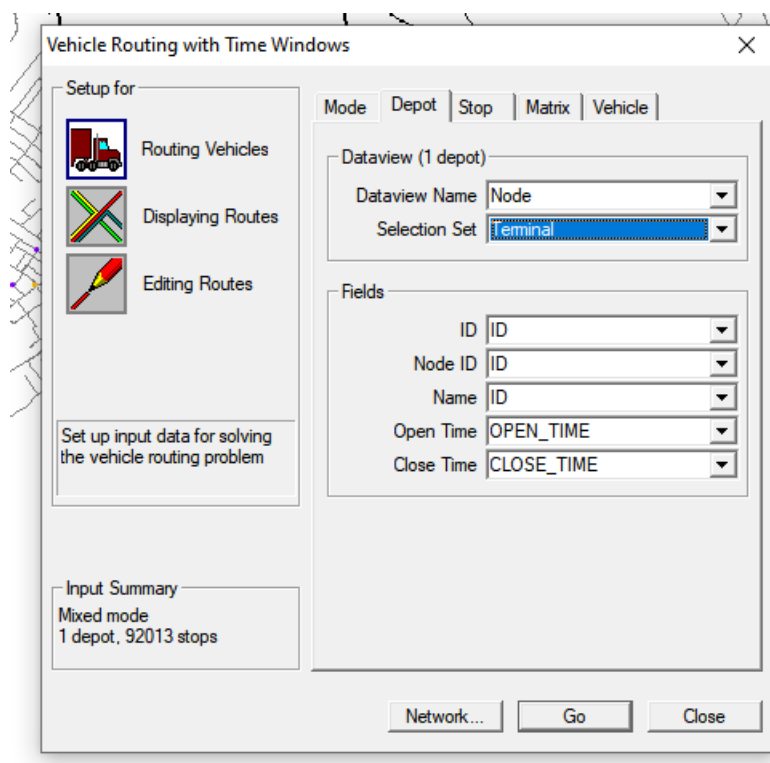
Figura 24: Janela inicial do modelo *Vehicle Routing*.



Fonte: Extraída do software TransCAD versão 4.5, 2021.

Na próxima etapa é definida a localização do terminal, o modelo aceita mais de um, porém, o objeto deste estudo é apenas o Terminal Metropolitano de Sarzedo. A Figura 25 mostra a janela de seleção desse item.

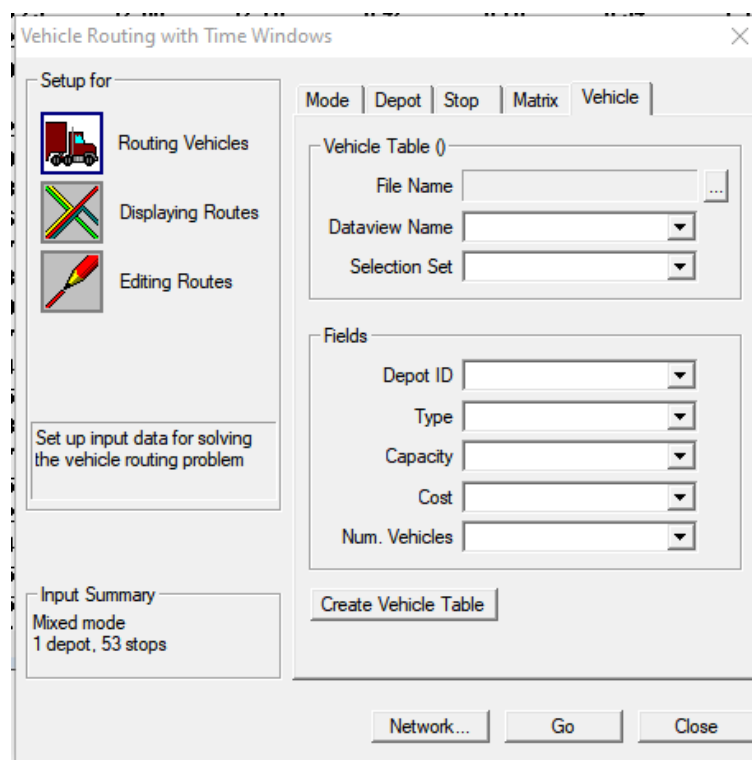
Figura 25: Janela do modelo *Vehicle Routing*, seleção do terminal.



Fonte: Extraída do software TransCAD versão 4.5, 2021.

O modelo Vehicle Routing permite a personalização do veículo a ser usado, podendo inclusive combinar diferentes veículos. O veículo escolhido para operar na rede é um veículo da categoria comercial leve, uma van utilitária com capacidade para 15 passageiros, devido a baixa demanda foram atribuídos 13 veículos desse tipo para operarem na rede.

Figura 26: Janela do modelo *Vehicle Routing*, seleção do veículo.

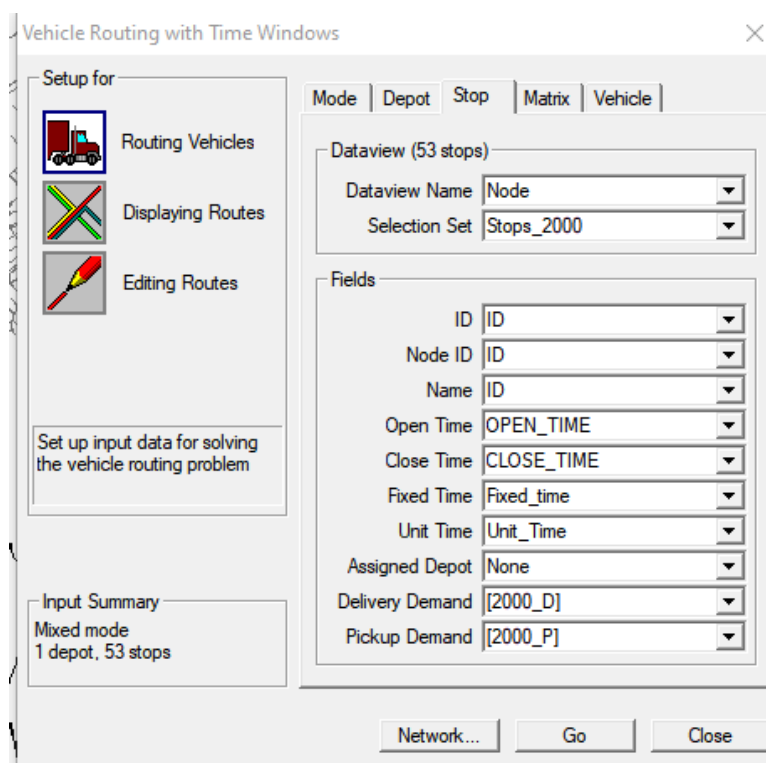


Fonte: Extraída do software TransCAD versão 4.5, 2021.

Na etapa de seleção de *Stops* que são os pontos de parada, foram utilizados os dados de demanda gerados pela Matriz OD, fez uma separação de horários de saída das viagens, os dados foram agregados de acordo com a demanda e definiu-se um intervalo de saída entre as viagens de 30 minutos.

Com isso, foram feitas seleções nos nós para pares de *Delivery* e *Pickup* para as seguintes saídas: 20:00, 20:30, 21:00, 21:30, 22:00, 22:30, 23:00, 23:30, 00:00 e 00:30; e para cada um desses horários foi gerada uma roteirização distinta. Essas seleções são usadas no item *Stop*, onde cada par de *Delivery* e *Pickup* foi definido na sua respectiva faixa horária. A Figura 27 ilustra a janela de seleção desse item.

Figura 27: Janela do modelo *Vehicle Routing*, seleção dos *Stops*.

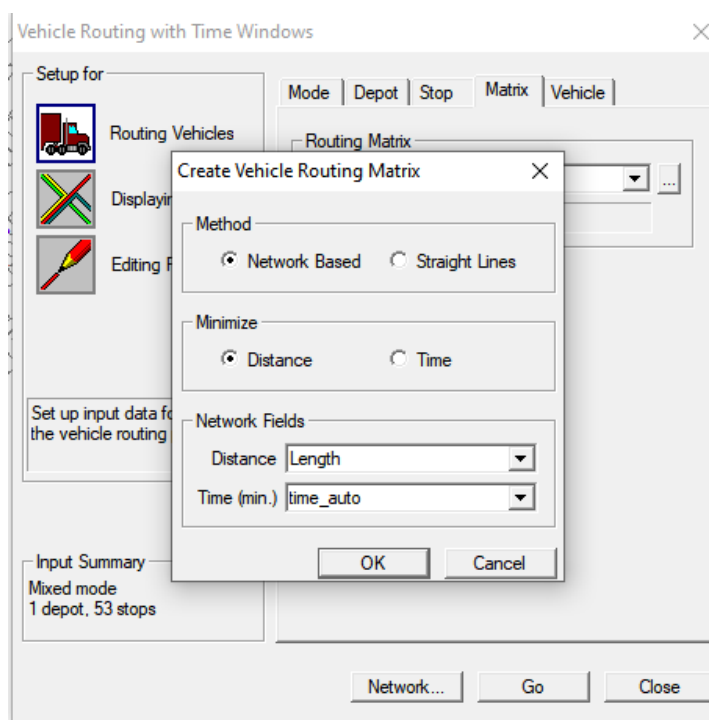


Fonte: Extraída do *software* TransCAD versão 4.5, 2021.

Além disto, foram atribuídos os tempos de embarque de passageiros, no item *Fixed Time*, o tempo utilizado foi de 3 segundos em concordância com o Manual de BRT do Instituto de Políticas e Transporte e Desenvolvimento (2009), para vans com capacidade para 15 (quinze) passageiros.

Por fim, para cada processo de roteirização é gerada uma matriz, na deste modelo ela foi criada para minimizar a distância. A Figura 28 ilustra a janela do *software* TransCAD para este item.

Figura 28: Janela do modelo *Vehicle Routing*, criação da matriz.



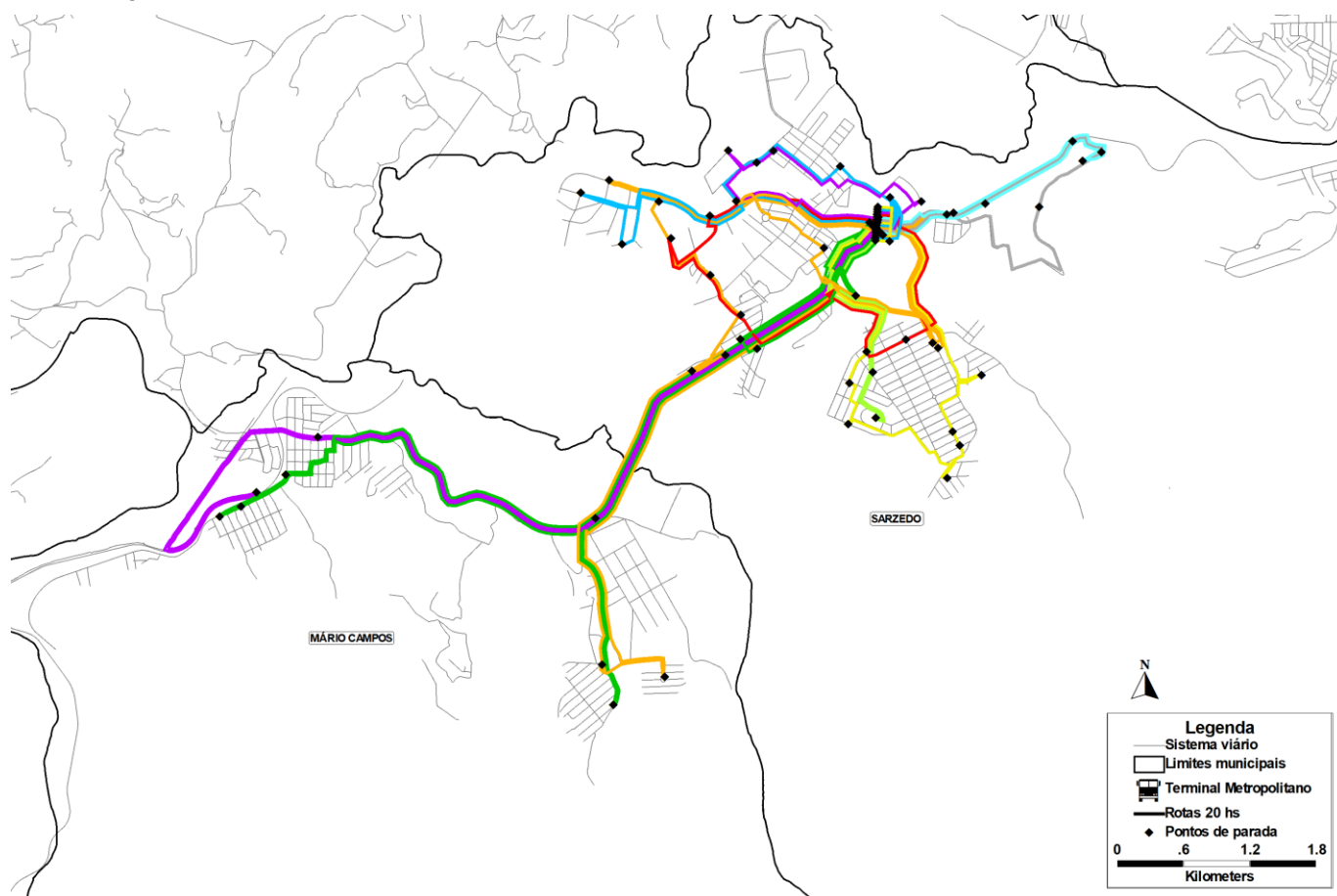
Fonte: Extraída do software TransCAD versão 4.5, 2021.

Realizados os procedimentos descritos acima para cada janela de hora, tem-se para cada uma delas os resultados em forma de arquivo .txt, nele constam informações sobre as rotas, e do embarque e desembarque de passageiros em cada parada. Além disso, é gerado um arquivo geográfico com as rotas e os seus respectivos pontos de parada. A seguir estão os resultados gráficos juntamente com uma tabela resumindo os dados operacionais, por janela de hora:

- Viagens iniciadas às 20:00:

Para as viagens com início às 20 horas foram o processo de roteirização resultou nas seguintes rotas, apresentadas graficamente na Figura 29.

Figura 29: Rotas das 20 horas.



Fonte: Elaboração própria, 2021.

Ao todo foram necessárias 14 (quatorze) rotas para atender toda a demanda de viagens, sendo elas com duração variada, assim como a distância. A Tabela 13 apresenta os resultados de tempo de viagem em minutos, extensão da rota em quilômetros e a média desses valores.

Tabela 13: Resumo dados das rotas das 20 horas.

Rota	Tempo	Distância (km)	Início Viagem	Final Viagem	Demanda por rota
1	59,43	19,81	20:00	20:59	10
2	59,08	19,69	20:00	20:59	14
3	56,39	18,80	20:00	20:56	22
4	24,60	8,20	20:00	20:24	18
5	22,57	7,52	20:00	20:22	14
6	18,63	6,21	20:00	20:18	18
7	15,95	5,32	20:00	20:15	14
8	15,32	5,11	20:00	20:15	14
9	23,78	7,93	20:00	20:23	15
10	14,77	4,92	20:00	20:14	15
11	12,52	4,17	20:00	20:12	15
12	17,31	5,77	20:00	20:17	9
13	3,28	1,09	20:00	20:03	11
14	0,76	0,25	20:00	20:00	11
Médias	24,60	8,20	-	-	14

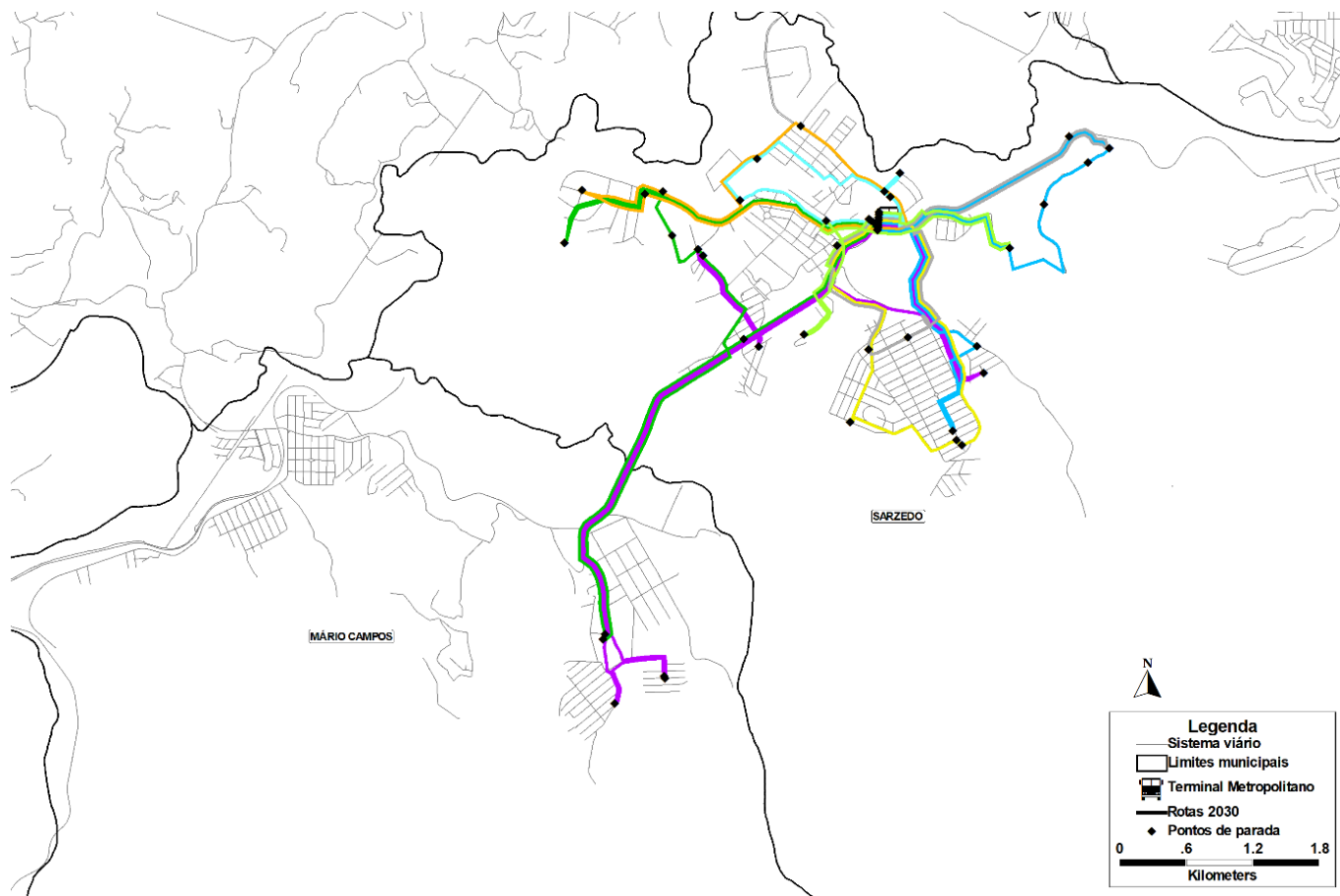
Fonte: Elaboração própria, 2021.

É importante ressaltar que nesta faixa horária existem duas rotas muito curtas, podendo ser realizadas com apenas um veículo.

- Viagens iniciadas às 20:30:

Para as viagens com início às 20:30 horas foram o processo de roteirização resultou nas seguintes rotas, apresentadas graficamente na Figura 30.

Figura 30: Rotas das 20:30 horas.



Fonte: Elaboração própria, 2021.

Ao todo foram necessárias 8 (oito) rotas para atender toda a demanda de viagens, sendo elas com duração variada, assim como a distância. A Tabela 14 apresenta os resultados de tempo de viagem em minutos, extensão da rota em quilômetros e a média desses valores.

Tabela 14: Resumo dados das rotas das 20:30 horas.

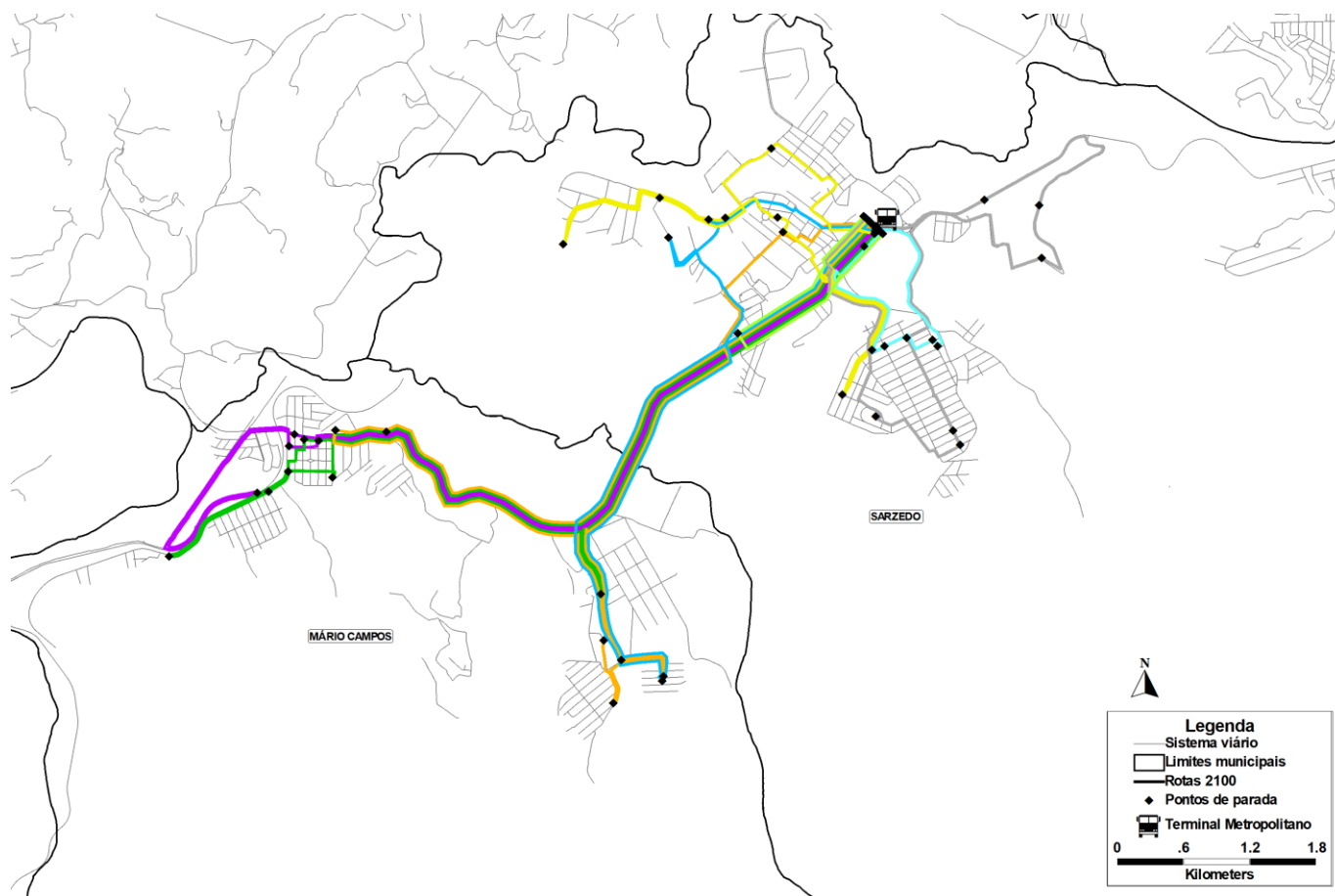
Rota	Tempo (min)	Distância (km)	Início Viagem	Final Viagem	Demanda por rota
1	53,90	17,97	20:30	21:23	21
2	45,25	15,08	20:30	21:15	17
3	22,76	7,59	20:30	20:52	18
4	32,62	10,87	20:30	21:02	14
5	18,56	6,19	20:30	20:48	14
6	24,36	8,12	20:30	20:54	14
7	13,64	4,55	20:30	20:43	16
8	18,59	6,20	20:30	20:48	12
Média	28,71	9,57	-	-	16

Fonte: Elaboração própria, 2021.

- Viagens iniciadas às 21:00:

Para as viagens com início às 21:00 horas foram o processo de roteirização resultou nas seguintes rotas, apresentadas graficamente na Figura 31.

Figura 31: Rotas das 21:00 horas.



Fonte: Elaboração própria, 2021.

Ao todo foram necessárias 8 (oito) rotas para atender toda a demanda de viagens, sendo elas com duração variada, assim como a distância. A Tabela 15 apresenta os resultados de tempo de viagem em minutos, extensão da rota em quilômetros e a média desses valores.

Tabela 15: Resumo dados das rotas das 21:00 horas.

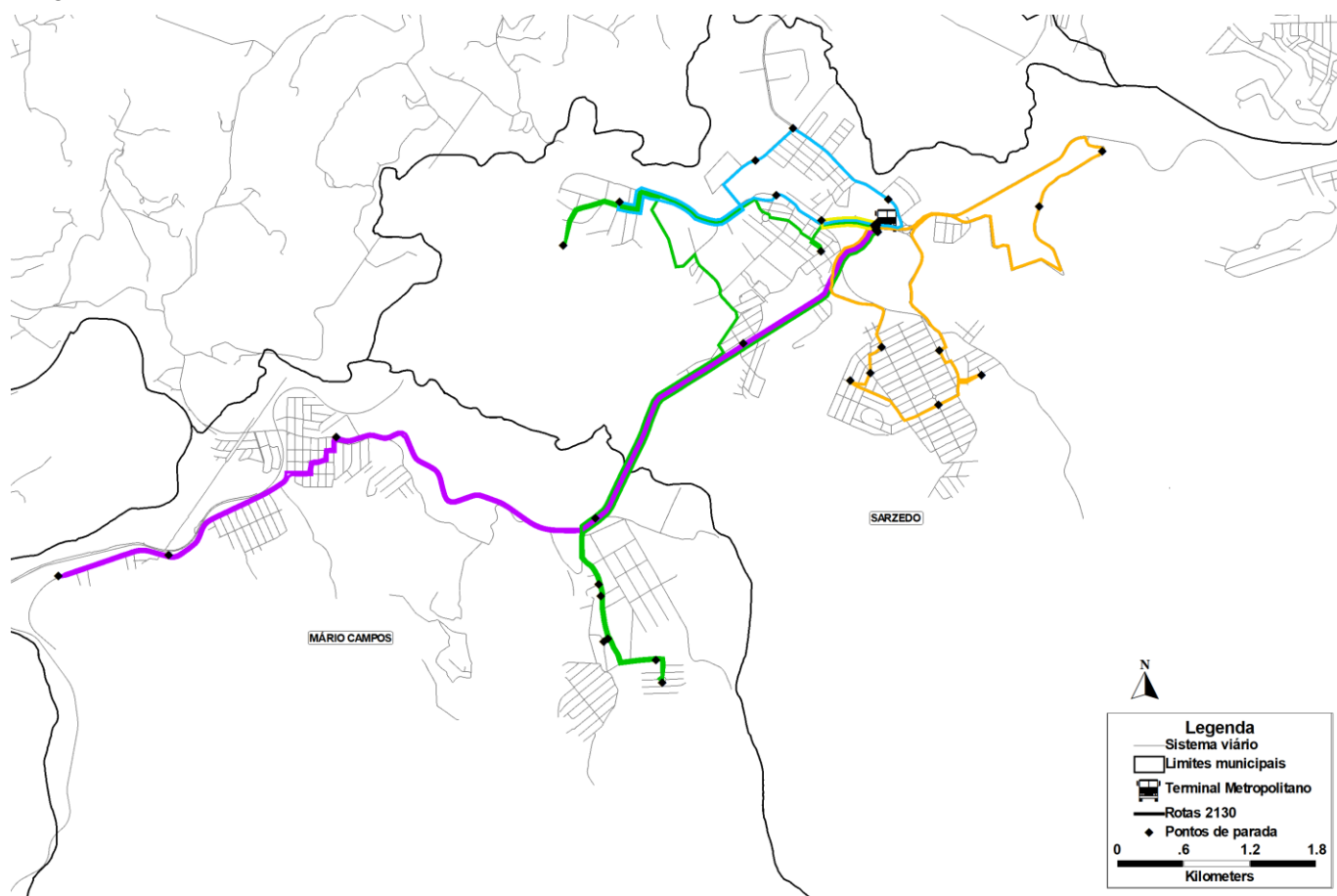
Rota	Tempo (min)	Distância (km)	Início Viagem	Final Viagem	Demanda por rota
1	59,54	19,85	21:00	21:19	8
2	56,91	18,97	21:00	21:18	21
3	55,78	18,59	21:00	21:18	16
4	42,42	14,14	21:00	21:14	14
5	35,86	11,95	21:00	21:11	15
6	35,98	11,99	21:00	21:11	14
7	12,19	4,06	21:00	21:04	7
8	9,88	3,29	21:00	21:03	10
Média	38,57	12,86	-	-	13

Fonte: Elaboração própria, 2021.

- Viagens iniciadas às 21:30:

Para as viagens com início às 21:30 horas foram o processo de roteirização resultou nas seguintes rotas, apresentadas graficamente na Figura 32.

Figura 32: Rotas das 21:30 horas.



Fonte: Elaboração própria, 2021.

Ao todo foram necessárias 5 (cinco) rotas para atender toda a demanda de viagens, sendo elas com duração variada, assim como a distância. A Tabela 16 apresenta os resultados de tempo de viagem em minutos, extensão da rota em quilômetros e a média desses valores.

Tabela 16: Resumo dados das rotas das 21:30 horas.

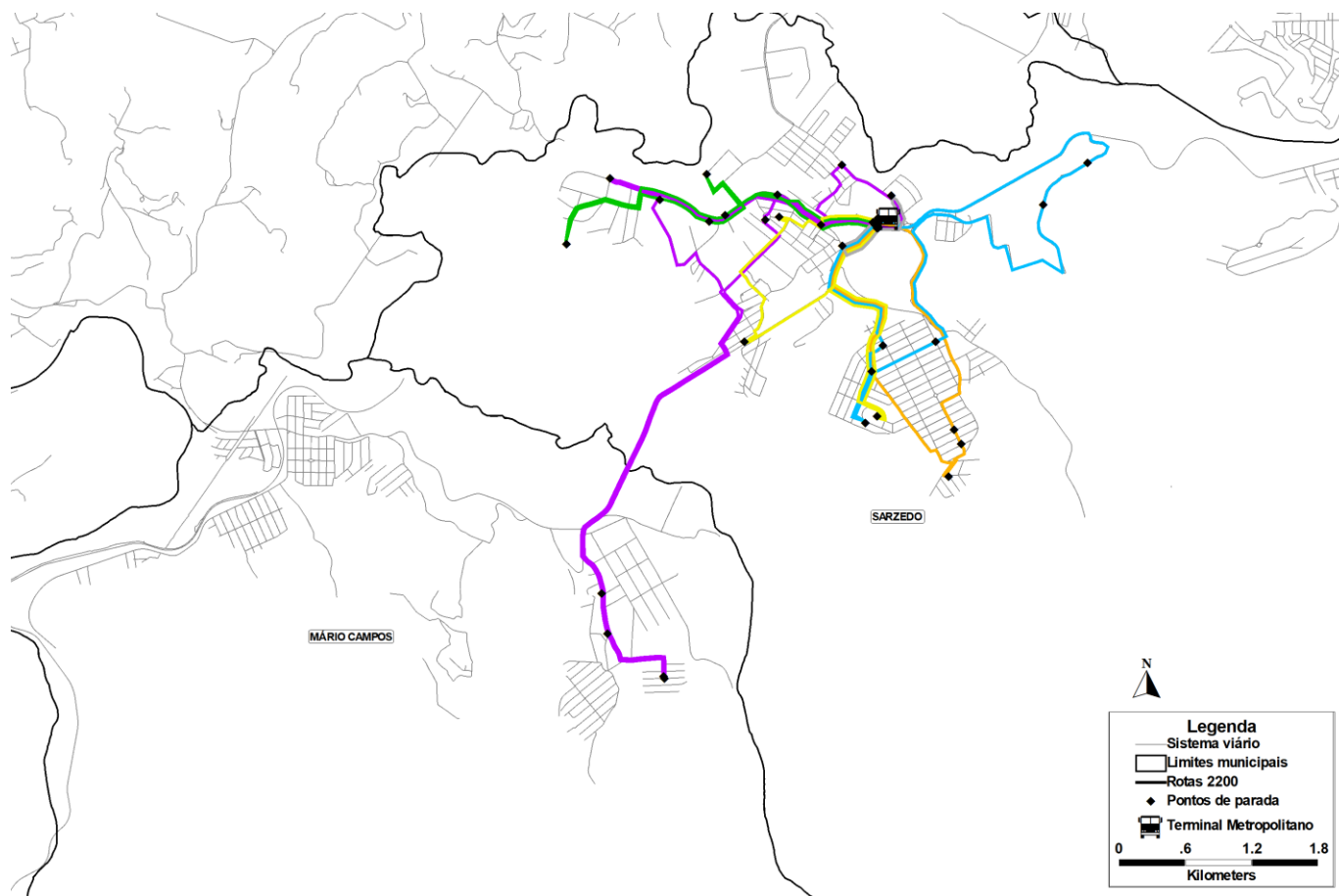
Rota	Tempo	Distância (km)	Início Viagem	Final Viagem	Demanda por rota
1	58,79	19,60	21:30	22:28	13
2	51,84	17,28	21:30	22:21	22
3	34,65	11,55	21:30	22:04	22
4	20,70	6,90	21:30	21:50	14
5	3,11	1,04	21:30	21:33	2
Média	33,82	11,27	-	-	15

Fonte: Elaboração própria, 2021.

- Viagens iniciadas às 22:00:

Para as viagens com início às 22:00 horas foram o processo de roteirização resultou nas seguintes rotas, apresentadas graficamente na Figura 33.

Figura 33: Rotas das 22:00 horas.



Fonte: Elaboração própria, 2021.

Ao todo foram necessárias 6 (seis) rotas para atender toda a demanda de viagens, sendo elas com duração variada, assim como a distância. A Tabela 17 apresenta os resultados de tempo de viagem em minutos, extensão da rota em quilômetros e a média desses valores.

Tabela 17: Resumo dados das rotas das 22:00 horas.

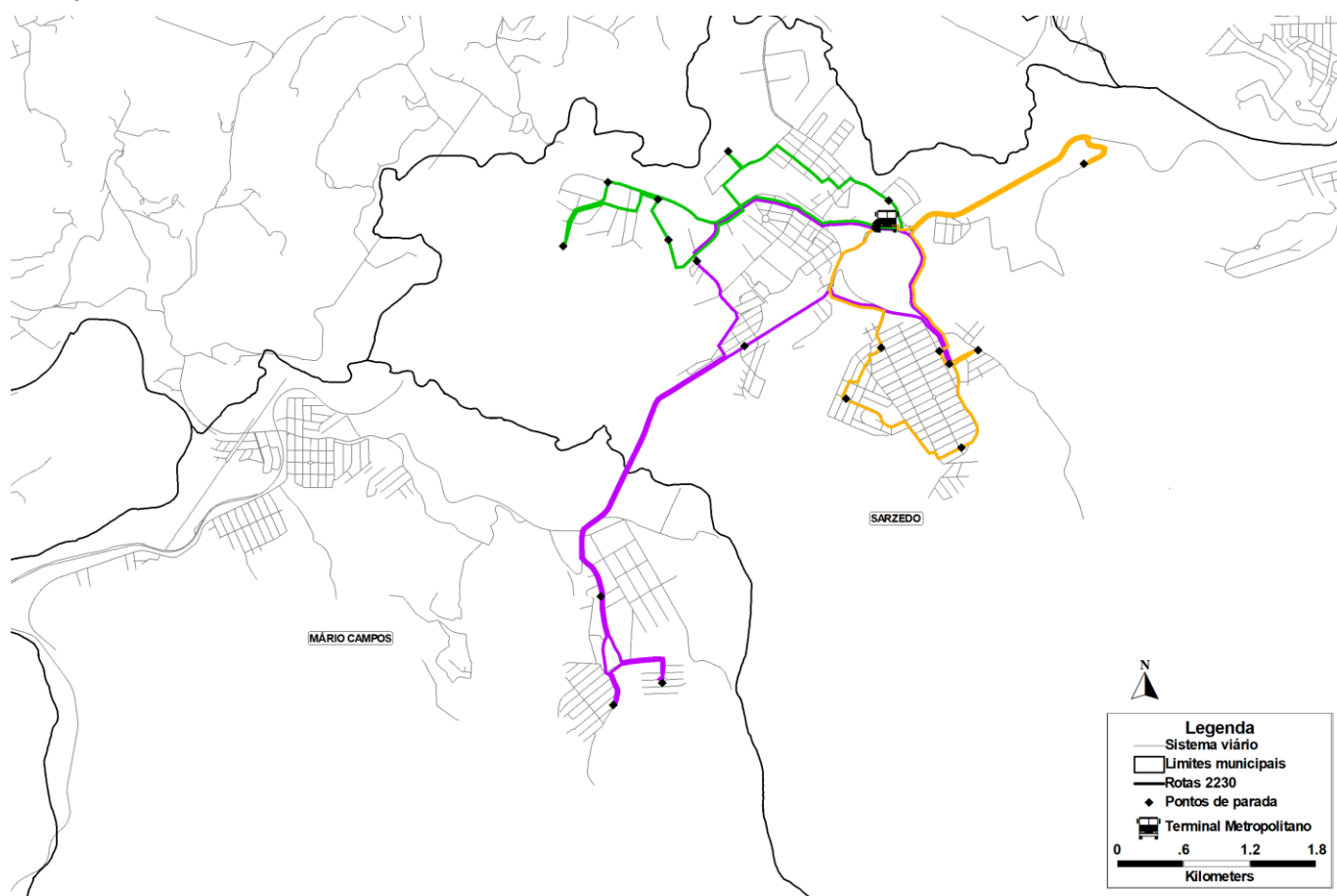
Rota	Tempo	Distância (km)	Início Viagem	Final Viagem	Demanda por rota
1	53,44	17,81	22:00	22:53	30
2	24,32	8,11	22:00	22:24	14
3	19,14	6,38	22:00	22:19	14
4	32,46	10,82	22:00	22:32	14
5	23,88	7,96	22:00	22:23	12
6	5,59	1,86	22:00	22:05	7
Média	26,47	8,82	-	-	15

Fonte: Elaboração própria, 2021.

- Viagens iniciadas às 22:30:

Para as viagens com início às 22:30 horas foram o processo de roteirização resultou nas seguintes rotas, apresentadas graficamente na Figura 34.

Figura 34: Rotas das 22:30 horas.



Fonte: Elaboração própria, 2021.

Ao todo foram necessárias 3 (três) rotas para atender toda a demanda de viagens, sendo elas com duração variada, assim como a distância. A Tabela 18 apresenta os resultados de tempo de viagem em minutos, extensão da rota em quilômetros e a média desses valores.

Tabela 18: Resumo dados das rotas das 22:30 horas.

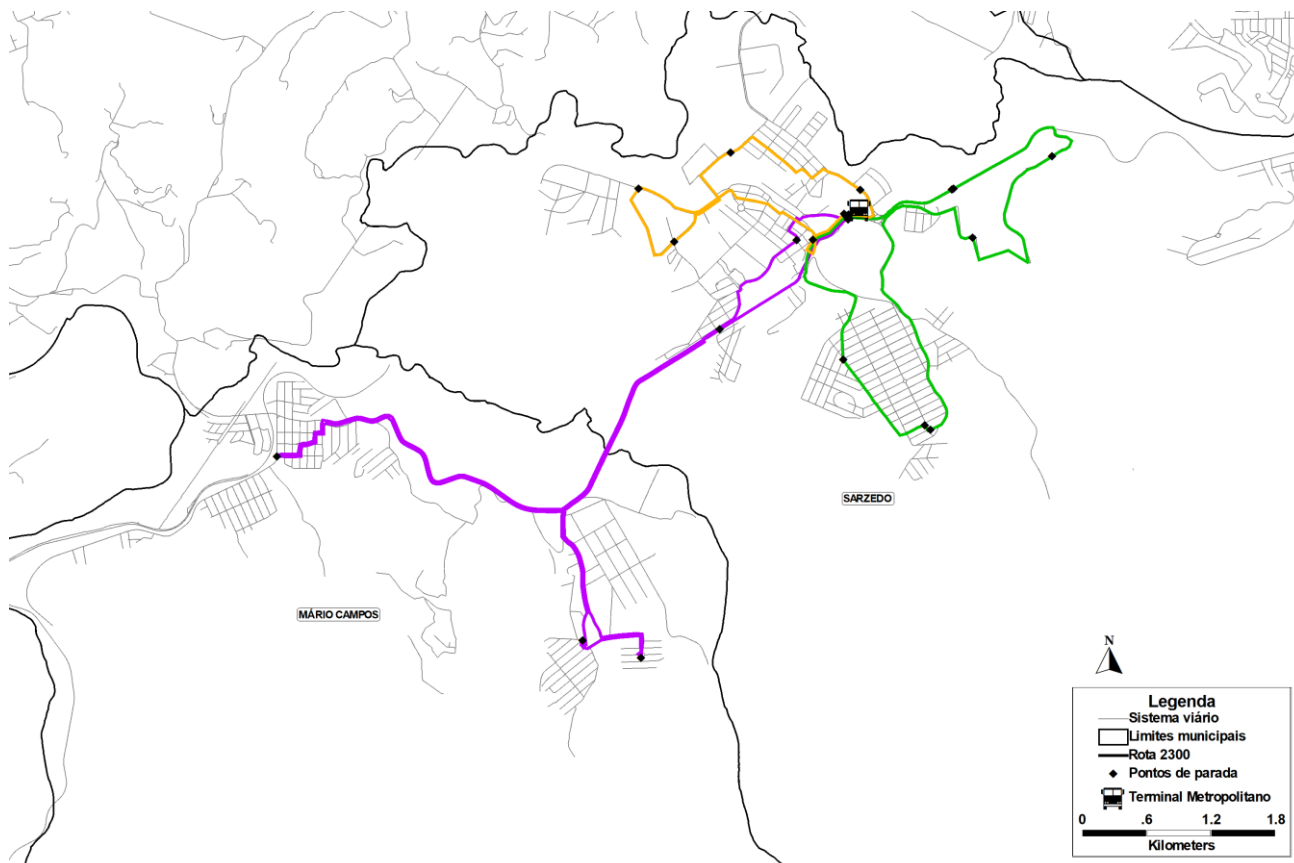
Rota	Tempo	Distância (km)	Início Viagem	Final Viagem	Demanda por rota
1	48,85	16,28	22:30	23:18	16
2	28,16	9,39	22:30	22:58	14
3	34,89	11,63	22:30	23:04	12
Média	37,30	12,43	-	-	14

Fonte: Elaboração própria, 2021.

- Viagens iniciadas às 23:00:

Para as viagens com início às 23:00 horas foram o processo de roteirização resultou nas seguintes rotas, apresentadas graficamente na Figura 35.

Figura 35: Rotas das 23:00 horas.



Fonte: Elaboração própria, 2021.

Ao todo foram necessárias 3 (três) rotas para atender toda a demanda de viagens, sendo elas com duração variada, assim como a distância. A Tabela 19 apresenta os resultados de tempo de viagem em minutos, extensão da rota em quilômetros e a média desses valores.

Tabela 19: Resumo dados das rotas das 23:00 horas.

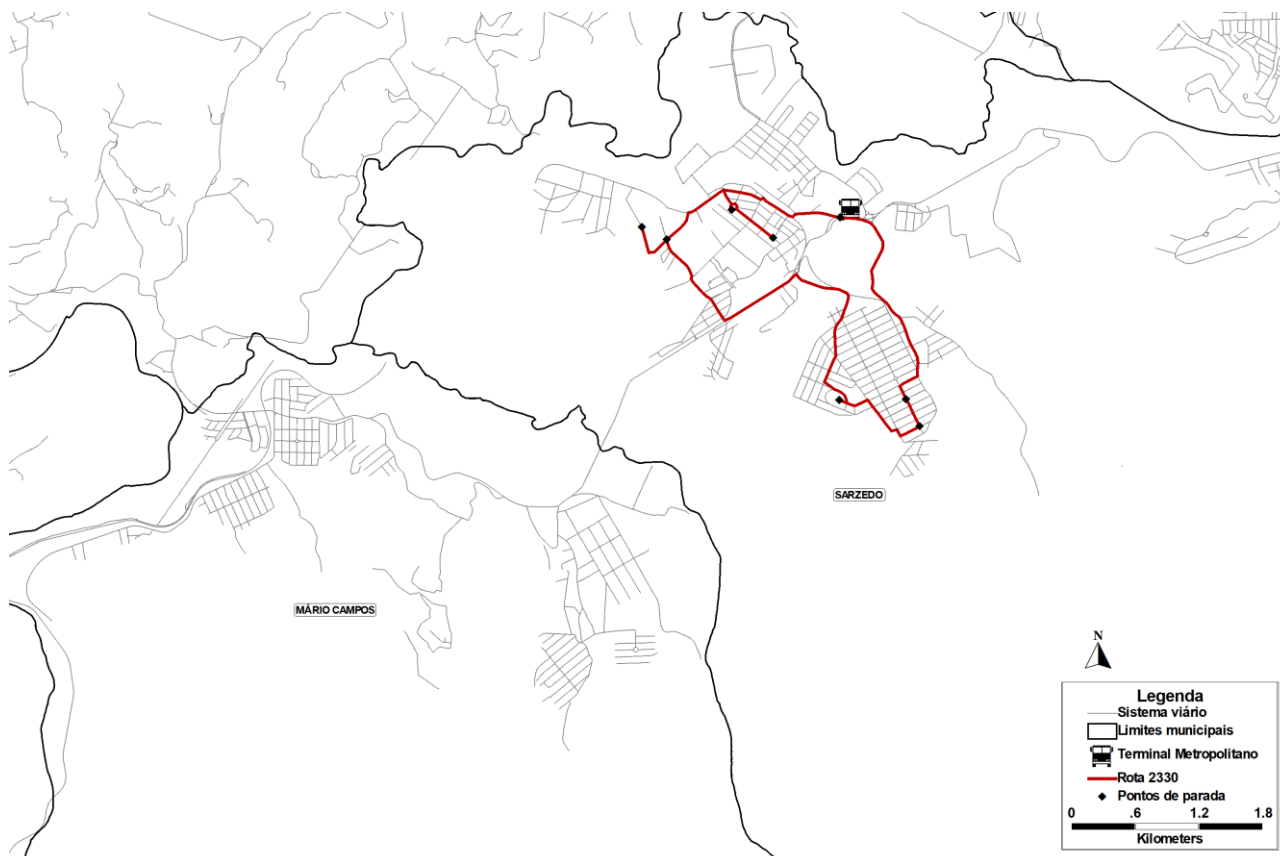
Rota	Tempo	Distância (km)	Início Viagem	Final Viagem	Demanda por rota
1	58,29	19,43	23:00	23:58	14
2	33,83	11,28	23:00	23:33	19
3	20,53	6,84	23:00	23:20	16
Média	37,55	12,52	-	-	16

Fonte: Elaboração própria, 2021.

- Viagens iniciadas às 23:30:

Para as viagens com início às 23:30 horas foram o processo de roteirização resultou na seguinte rota, apresentada graficamente na Figura 36.

Figura 36: Rota das 23:30 horas.



Fonte: Elaboração própria, 2021.

Uma rota foi necessária para atender a demanda. A Tabela 20 apresenta os resultados de tempo de viagem em minutos, extensão da rota em quilômetros e a média desses valores.

Tabela 20: Dados operacionais rota das 23:30 horas.

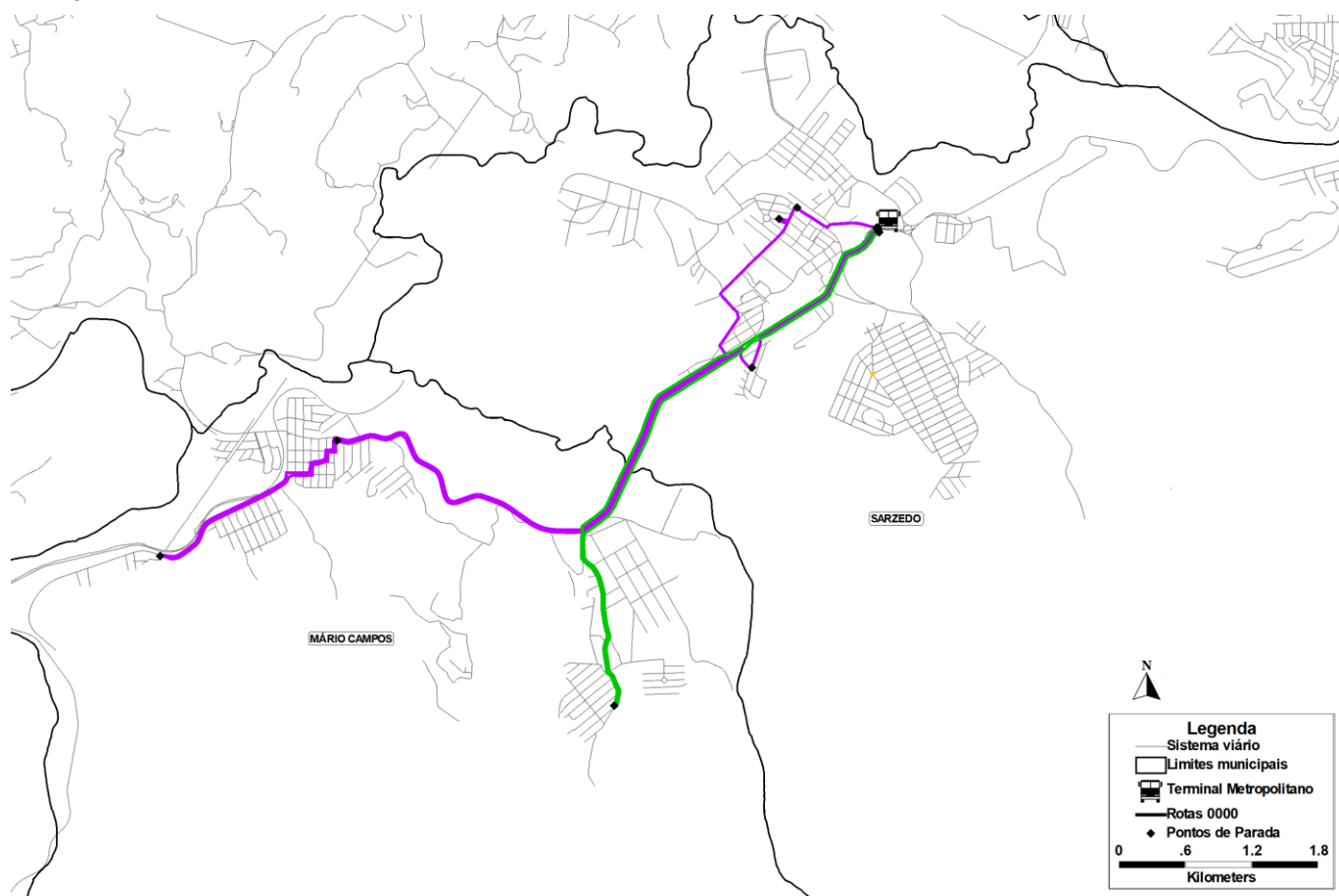
Rota	Tempo	Distância (km)	Início Viagem	Final Viagem	Demanda por rota
1	38,97	12,99	23:30	00:08	17

Fonte: Elaboração própria, 2021.

- Viagens iniciadas às 00:00:

Para as viagens com início às 00:00 horas foram o processo de roteirização resultou nas seguintes rotas, apresentadas graficamente na Figura 37.

Figura 37: Rotas das 00:00 horas.



Fonte: Elaboração própria, 2021.

Ao todo foram necessárias 3 (três) rotas para atender toda a demanda de viagens, sendo elas com duração variada, assim como a distância. A Tabela 21

apresenta os resultados de tempo de viagem em minutos, extensão da rota em quilômetros e a média desses valores.

Tabela 21: Resumo dados das rotas das 00:00 horas.

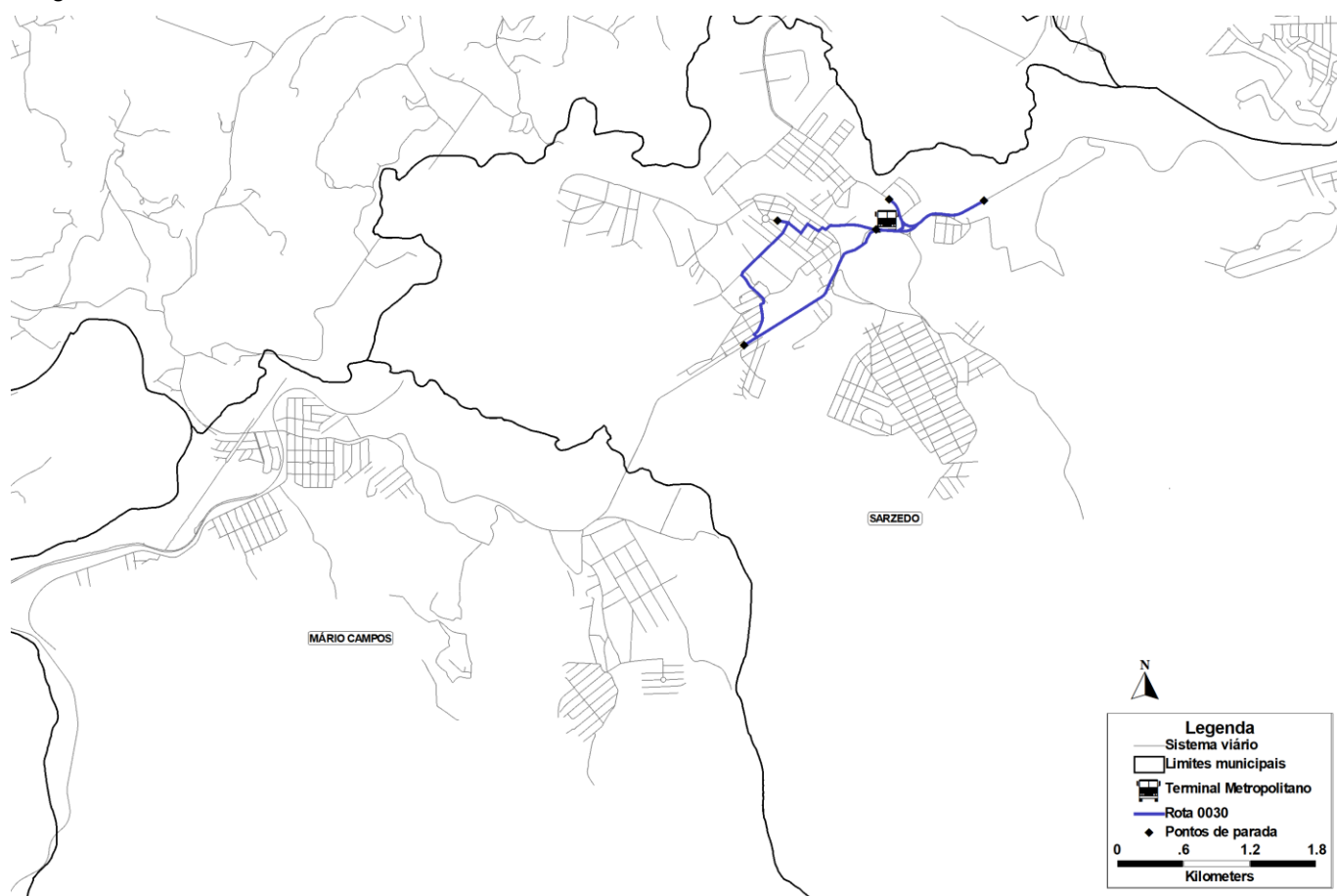
Rota	Tempo	Distância (km)	Início Viagem	Final Viagem	Demanda por rota
1	57,06	19,02	00:00	00:57	6
2	33,88	11,29	00:00	00:33	2
Média	45,47	15,16	-	-	4

Fonte: Elaboração própria, 2021.

- Viagens iniciadas às 00:30:

Para as viagens com início às 00:30 horas foram o processo de roteirização resultou na seguinte rota, apresentada graficamente na Figura 38.

Figura 38: Rota das 00:00 horas.



Fonte: Elaboração própria, 2021.

Uma rota foi necessária para atender a demanda. A Tabela 20 apresenta os resultados de tempo de viagem em minutos, extensão da rota em quilômetros e a média desses valores.

Tabela 22: Dados operacionais rota das 00:30 horas.

Rota	Tempo	Distância (km)	Início Viagem	Final Viagem	Demanda por rota
1	20,80	6,93	00:30	00:50	5

Fonte: Elaboração própria, 2021.

5.4.2 Cálculo dos indicadores operacionais

Neste item serão avaliados alguns indicadores de desempenho operacional do modelo de rede proposto de transporte público sob demanda, as análises se baseiam nos dados extraídos do processo de roteirização, obtido no *software* TransCAD.

A Tabela 23 mostra o desempenho da rede de acordo com os seguintes indicadores: passageiros por viagem (PV), passageiros por veículo (PASS/VEIC), produção quilométrica (PQ), percurso médio diário (PMD) e índice de passageiros por quilômetro (IPK).

Tabela 23: Indicadores operacionais.

Hora	PV	PASS/VEIC	PQ	PMD	IPK
20	14,82	23,29	191,36	13,67	1,70
21	13,69	22,25	159,21	19,90	1,12
22	14,78	22,17	90,24	15,04	1,47
23	16,50	22,00	50,54	16,85	1,31
00	4,33	6,50	37,24	18,62	0,35
20 – 00	64,12	96,21	528,59	84,08	5,95

Fonte: Elaboração própria, 2021.

Para avaliar a eficiência da operação, mediu-se a capacidade disponível em cada hora da faixa horária estuda, somando a oferta de viagens com o número de lugares de cada veículo. Todos os veículos possuem a mesma capacidade de 15 (lugares); os resultados estão na Tabela 24.

Tabela 24: Capacidade ofertada na rede.

Hora	Passageiros	Soma de Capacidade
20	287	330
21	145	195
22	116	135
23	50	60
0	20	45
Soma	618	765

Fonte: Elaboração própria, 2021.

5.4.3 Síntese dos resultados

Com os resultados apurados, podemos concluir que o sistema proposto possui taxa de ocupação média de 75%, o que mostra a eficiência no aproveitamento da frota.

Os indicadores de desempenho operacional temos um ganho na maioria deles, redução no tempo de viagem, sem contar os benefícios não contabilizados que uma personalização do serviço traria na captação de novos usuários.

O intervalo entre as viagens definido para a roteirização foi de 30 (trinta) minutos, mas este poderia ser reduzido nos horários mais carregados, com o sistema em operação os parâmetros podem ser personalizados de acordo com a demanda, o que permite maior otimização da operação.

A frota apresentada poderia ainda, sofrer um processo de otimização, tendo um maior aproveitamento no sistema.

No próximo capítulo será apresentado um modelo de avaliação a fim de medir os ganhos do ponto de vista do usuário e do operador com a oferta desta modalidade de serviço como complemento a rede de transporte alimentadora do Terminal Metropolitano de Sarzedo.

6 MODELO DE AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE

O modelo de roteirização proposto para a operação do transporte público sob demanda, mostrou-se eficiente de acordo com os indicadores produzidos, há uma otimização do uso dos veículos, a possibilidade de gerar rotas de acordo com as necessidades do usuário auxilia nessa eficiência.

A otimização dos custos do sistema, ao combinar o melhor tipo de veículo de acordo com as necessidades de viagem, também é um privilégio importante do transporte público coletivo sob demanda, uma vez que tal economia, ao ser repassada para o passageiro, coloca esse sistema em grande vantagem competitiva frente ao transporte individual, invertendo a hegemonia atual deste modo sobre o coletivo.

Para medir a viabilidade do sistema, ou seja, os ganhos em relação ao desempenho operacional e ganhos para os usuários, serão avaliados: tempo de viagem, IPK, frota, oferta, *headway* e emissões dos gases do efeito estufa.

A imagem a seguir, aborda os resultados encontrados em cada um dos sistemas, o tempo de viagem é uma média para cada um dos sistemas, porém, o ganho de desempenho nesse item do sistema sob demanda é ainda maior, uma vez que, não foi medido o tempo de espera no terminal.

Figura 39: Quadro comparativo entre os sistemas.

	Convencional	Sob Demanda	Diferença
Tempo de Vagem	 45 Minutos	 31 Minutos	- 14 minutos
Frota	 18 Ônibus	 13 vans	- 4 veículos
IPK	1,68	1,3	-0,38
Extensão das rotas	 13,65 km	 10,36 km	- 3,29 km
Headway	 53 Minutos	 30 Minutos	- 23 minutos

Fonte: Elaboração própria, 2021.

Em relação a frota além da redução de 4 veículos, a rede sob demanda opera com veículos menores do tipo vans utilitárias, que são veículos de custo menor, além de gerarem despesas menores com custos fixos e variáveis.

O IPK na rede sob demanda é 38% menor o que do ponto de vista do usuário, mede um conforto maior nas viagens, mas indica uma perda de desempenho em termos operacionais.

Em relação a extensão em média as rotas no sistema sob demanda são mais curtas, porém o sistema possui uma maior produção quilométrica por apresentar uma oferta maior de viagens.

Em termos de produção quilométrica diária, a rede sob demanda apresenta um resultado superior, 528,59 km, enquanto a rede convencional percorrer 447,65 km por dia. Este fator é compensado pelo tipo de veículo utilizado no sob demanda, e além disso o mesmo possui uma vantagem ambiental em relação ao convencional.

Um fator que traz competitividade nos sistemas de transporte público sob demanda é que o mesmo traz emissões de poluentes muito menores por distância percorrida. Uma vez que, conseguem operar com vans. A Tabela 25 apresenta os fatores de emissões de gases do efeito estufa em grama de poluente por quilômetro percorrido, por tipo de veículo.

Tabela 25: Fatores de emissão.

Tipo de Veículo	Fatores de emissão grama de poluente/km			
	CO	Nox	NMHC	MP
Veículos Comerciais Leves	0,484	1,49	0,107	0,032
Ônibus Urbano	1,462	7,682	0,179	0,13

Fonte: Adaptado do Inventário Nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários, 2014.

As vans que vão operar no sob demanda se caracterizam como veículos comerciais leves, que apresentam índices de poluição inferiores aos ônibus urbanos.

Em ambos os sistemas na faixa horária estudada são ofertadas no total 47 (quarenta e sete) viagens, porém no sistema sob demanda há uma maior otimização dessas viagens, uma vez que elas são geradas de acordo com a demanda, permitindo uma programação prévia.

O intervalo entre as viagens teve uma redução de 23 minutos na rede proposta, o que mostra um ganho de nível de serviço prestado aos usuários.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O serviço abordado neste estudo engloba parte da operação da rede de transporte analisada, sendo sugerido como complemento ao serviço ofertado. Cabe ressaltar que o estudo se baseia apenas na faixa horário de 20 às 00 horas, sendo que, os veículos propostos não fazem parte ainda da operação do sistema atual. Porém, pode ser promovido um estudo para rearranjo desses veículos para que eles possam ser utilizados em outros horários.

O estudo se baseia na demanda apurada na Pesquisa Origem e Destino, não sendo possível mensurar os impactos da melhoria na oferta na captação de passageiros.

O serviço de transporte público sob demanda concentra-se na otimização dos atributos de viagem para um grupo de passageiros e, por isso, pode resultar em tempos de espera e viagem mais longos, se comparados com o transporte individual sob demanda, não devendo, portanto, ser alvo de comparações estritas.

O atendimento personalizado das demandas por meio de um serviço bem programado, pode reduzir viagens desnecessárias, melhorar a experiência do cliente, reduzir baldeações e trazer ao passageiro diversas facilidades que, até o momento, só são proporcionadas pelos modos de transporte individual.

A otimização dos custos do sistema, ao combinar o melhor tipo de veículo de acordo com as necessidades de viagem, também é um privilégio importante do transporte público coletivo de passageiros sob demanda, uma vez que tal economia, ao ser repassada para o passageiro, coloca esse sistema em grande vantagem competitiva frente ao transporte individual, invertendo a hegemonia atual deste modo sobre o coletivo.

Além disso, essa é uma alternativa viável como complemento à uma estrutura de rede tradicional e não como substituto total dessa estrutura. Este tipo de serviço é especialmente benéfico em locais e horários nos quais as linhas de transporte coletivo tradicionais operam com demanda muito abaixo de sua capacidade, sendo, nesse cenário, uma opção mais acessível, econômica, segura e dinâmica para os passageiros.

Sendo assim, este trabalho provou a viabilidade técnica da utilização do transporte público sob demanda no Terminal Metropolitano de Sarzedo, mostrando-

se viável em aspectos operacionais, para qualificar os deslocamentos de última milha dos seus usuários.

Parte da solução dos problemas que englobam a mobilidade urbana, relacionados ao alto índice de motorização, envolve o incentivo ao uso do transporte público coletivo de passageiros.

Neste sentido, o transporte sob demanda apresenta-se como uma modalidade de serviço com o potencial de resgatar os passageiros do terminal estudado que passaram a utilizar outros modos, mitigar os problemas de mobilidade urbana enfrentados no município de Sarzedo, reduzir a emissão de poluentes e aprimorar a eficiência do transporte público.

Porém, existem alguns fatores a serem ponderados, a provisão de um sistema de transporte público coletivo sob demanda compreende a utilização de um aplicativo que faça a fusão de dados entre o usuário e o operador. Este aplicativo tem um custo para sua utilização e esta taxa atualmente não é baixa e tem onerado a operação e, conseqüentemente, a tarifa do serviço.

8 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste estudo não é feita uma análise de apuração de custos e estimativa de viabilidade financeira, com uma avaliação criteriosa de cada fator, recomenda-se a elaboração da mesma.

Outro fator a ser desenvolvido seria uma plataforma integradora para disponibilizar este e outros serviços de mobilidade de forma virtual e dinâmica. Além disso, teria que ser avaliado os usuários que não teriam mecanismos de acesso à essa plataforma, que depende de um smartphone e do uso de dados móveis.

A Pesquisa Mobilidade da População Urbana de 2017, da CNT, indica que 86% dos usuários do transporte público coletivo de passageiros possuem um smartphone, mas apenas 65,8% possuem acesso à internet. Ou seja, 34,2% dos usuários não teriam acesso ao serviço ofertado, devido a impossibilidade de acessar o aplicativo online. Todavia, esta deficiência poderia ser mitigada com o fornecimento de bancos de dados para utilização do aplicativo.

Entretanto, ainda assim, teríamos 11,2% dos usuários sem acesso ao serviço por não possuírem o smartphone em si. Neste ponto, vale observar que, caso o sistema seja implementado apenas de forma complementar à rede existente, essa limitação poderia não representar um problema significativo. Sendo recomendado um estudo para inclusão desses usuários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDOLFATO, Daniele Marques. **Racionalização do transporte público por ônibus da cidade de Jaú**. 2005. Dissertação (Mestrado em Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005. doi:10.11606/D.18.2005.tde-29052007-161607.

ARCHETTI, Claudia; SPERANZA, M. Grazia; WEYLAND, Dennis. A simulation study of an on-demand transportation system. **International Transactions In Operational Research**, [s.l.], v. 25, n. 4, p.1137-1161, 2 nov. 2017. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/itor.12476>

ATASOY, Bilge; IKEDA, Takuro; SONG, Xiang; BEN-AKIVA, Moshe E.. The concept and impact analysis of a flexible mobility on demand system. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, [s.l.], v. 56, p.373-392, jul. 2015. Elsevier BV.

ANTP – Associação Nacional de Transportes Públicos. Estudo do impacto potencial do transporte por aplicativo no transporte público por ônibus. Estudos de Caso: São Paulo e Belo Horizonte. Julho de 2019.

BARONE, Vincenzo; MONGELLI, Domenico Walter Edvige; TASSITANI, Antonio. Vibrational Comfort on Board the Vehicle: influence of speed bumps and comparison between different categories of vehicle. **Advances In Acoustics And Vibration**, [S.L.], v. 2016, p. 1-6, 8 set. 2016. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/2676021>.

BRANCO, M. C. L. e ÁVILA, G. M. (2020) “O transporte coletivo e a opção sob demanda: o estudo de caso de Goiânia”, em Holzmann, H. A. e Dallamuta, J. (Orgs.), **Resultados das pesquisas e inovações na Área das Engenharias - 2**, Atena Editora, Ponta Grossa, PR, pp. 257-268.

BRASIL, Lorena Gonçalves. **ANÁLISE DO DESEMPENHO DO TRANSPORTE PÚBLICO RESPONSIVO À DEMANDA POR MEIO DE SIMULAÇÃO**

MULTIAGENTE BASEADA EM ATIVIDADES. 2019. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

BRASIL. MMA et al. **Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários 2013: ano-base 2012: relatório final.** [Brasília, DF], 2014.

BRIDJ (2020), “**Bridging the gap to Strathfield & Burwood train stations**”, disponível em: <https://bridj.com/latest/burwood-strathfield-case-study> (acessado em 15 de fevereiro de 2021).

CARVALHO, C. A. (2010). **Análise Comparativa do Conflito entre o Sistema de Transporte Público Urbano e as Necessidades de Deslocamento da População da Cidade de Samambaia. Dissertação de Mestrado em Transportes.** Publicação TDM – 009 A/2010. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 193p.

CASSEL, Daniela Lichtler, **Caracterização dos serviços de ridesourcing e a relação com o transporte público coletivo: estudo de caso em Porto Alegre, UFRGS, dissertação de mestrado, Porto Alegre, 2018.**

CHANDRA, Shailesh; QUADRIFOGLIO, Luca. A model for estimating the optimal cycle length of demand responsive feeder transit services. **Transportation Research Part B: Methodological**, [S.L.], v. 51, p. 1-16, maio 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trb.2013.01.008>.

CHARISIS, Anastasios; ILIOPOULOU, Christina; KEPAPTSOGLOU, Konstantinos. TRANSPORTE SOB DEMANDA route design for the first/last mile problem: model and application to Athens, Greece. **Public Transport**, [s.l.], v. 10, n. 3, p.499-527, 18 set. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12469-018-0188-0>.

CNT (2017), “**Pesquisa mobilidade da população urbana - 2017**”, disponível em: <https://www.ntu.org.br/novo/upload/Publicacao/Pub636397002002520031.pdf> (acessado 11 dezembro 2020)

COUTO, Sdaniel Marx. **Regulação e Controle Operacional no Transporte Coletivo Urbano: Estudo de Caso no Município de Belo Horizonte/MG**. 2013. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

CUEVAS, Victor; ESTRADA, Miquel; SALANOVA, Josep Maria. Management of On-demand Transport Services in Urban Contexts. Barcelona Case Study. **Transportation Research Procedia**, [s.l.], v. 13, p.155-165, 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.016>.

DAVISON, Lisa; ENOCH, Marcus; RYLEY, Tim; QUDDUS, Mohammed; WANG, Chao. Identifying potential market niches for Demand Responsive Transport. **Research In Transportation Business & Management**, [S.L.], v. 3, p. 50-61, ago. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rtbm.2012.04.007>

DIANA, M., QUADRIFLOGLIO, L.; PRONELLO., C. (2007) **Emission of demand responsive services as na alternativa to conventional transist systems**. Transportation Research. 6p.

Diário do Transporte (2020a), “**Aplicativo CityBus 2.0 de Goiânia anuncia “integração” com ônibus convencionais do sistema**”, disponível em: <https://diariodotransporte.com.br/2020/10/19/aplicativo-citybus-2-0-de-goiania-anuncia-integracao-com-onibus-convencionais-dosistema/> (acessado em: 15 de agosto 2021).

Diário do Transporte (2020b), “**São Bernardo do Campo (SP) passa a ter vans de aplicativo no transporte coletivo por empresa de ônibus**”, disponível em: <https://diariodotransporte.com.br/2020/12/01/audio-sao-bernardo-do-campo-sp-passa-a-ter-vans-de-aplicativo-notransporte-coletivo-por-empresa-de-onibus/> (acessado em: 15 de agosto 2021).

EGAN, Malcolm; DRCHAL, Jan; MRKOS, Jan; JAKOB, Michal. Towards Data-Driven On-Demand Transport. **Eai Endorsed Transactions On Industrial Networks And Intelligent Systems**, [S.L.], v. 5, n. 14, p. 154835, 27 jun. 2018. European Alliance for Innovation n.o.. <http://dx.doi.org/10.4108/eai.27-6-2018.154835>.

FERRAZ, Antônio Clóvis Pinto; TORRES, Isaac Guillermo Espinosa. **Transporte Público Urbano**. 2. ed. São Carlos: Rima, 2004. 410 p.

FURTADO, Débora Canongia. **Transporte Coletivo Responsivo à Demanda: uma análise de requisitos de aceitabilidade para potenciais usuários no Distrito Federal**. 2017. xii, 111 f., il. Dissertação (Mestrado em Transportes)-Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

GUERRA, André Leite. **Determinação de matriz origem/destino utilizando dados do sistema de bilhetagem eletrônica**. 2011. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

HSL - Helsinki regional transport authority (2016), “**Kutsuplus – Final Report. 2016**”, disponível em: https://www.hsl.fi/sites/default/files/uploads/8_2016_kutsuplus_finalreport_english.pdf (acessado 12 dezembro 2020).

ISODA, M. K. D. T, 2013, **Transporte sobre Trilhos na Região Metropolitana de São Paulo: estudo sobre a concepção e inserção das redes de transporte de alta capacidade**. Dissertação de Mestrado – FAUUSP, São Paulo.

ITDP - Instituto de Políticas e Transporte e Desenvolvimento. Manual de BRT. (2009).

KLEIMAN, M. (2011) Transport and mobility and its context in Latin America. In: **Studies and Debates No. 61**. Rio de Janeiro: IPPUR: UFRJ.

LADEIRA, Maria Cristina Molina. **Regulação da operação de linhas de transporte público urbano: controle do headway**. 2014. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso

de Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

LANE, Bradley W.. On the utility and challenges of high-speed rail in the United States. **Journal Of Transport Geography**, [S.L.], v. 22, p. 282-284, maio 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.01.030>.

LIYANAGE, Sohani; DIA, Hussein; ABDULJABBAR, Rusul; BAGLOEE, Saeed. Flexible Mobility On-Demand: an environmental scan. **Sustainability**, [S.L.], v. 11, n. 5, p. 1262, 27 fev. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su11051262>.

METRÔ DE SÃO PAULO. **Pesquisa origem-destino 2017: A mobilidade urbana na região metropolitana de São Paulo em detalhes**. 2019. Disponível em: <<http://www.metro.sp.gov.br/pesquisa-od/>>. Acesso em: 22 fev 2021.

Mobilize (2020), **“Goiânia, Fortaleza e DF adotam o “transporte público sob demanda”**”, disponível em: www.mobilize.org.br/noticias/11962/goiania-fortaleza-e-o-df-adotam-o-transportepublico-sob-demanda.html (acessado 11 dezembro 2020).

NTU, Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos, **“Relatório anual 2017-18”**, Brasília, 2017.

ORRICO FILHO, R. D. et al (2013). **Redes de transporte público coletivo de passageiros urbano: um roteiro metodológico para sua concepção**. Universidade Federal Do Rio De Janeiro, Rio de Janeiro.

PAPANIKOLAOU, Anestis; BASBAS, Socrates; MINTSIS, George; TAXILTARIS, Christos. A methodological framework for assessing the success of Demand Responsive Transport (DRT) services. **Transportation Research Procedia**, [S.L.], v. 24, p. 393-400, 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.095>.

RAYLE, Lisa; DAI, Danielle; CHAN, Nelson; CERVERO, Robert; SHAHEEN, Susan. Just a better taxi? A survey-based comparison of taxis, transit, and ridesourcing

services in San Francisco. **Transport Policy**, [S.L.], v. 45, p. 168-178, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2015.10.004>.

RISSANEN, K. (2014). Kutsuplus.fi -- a Novel, Automated Real-time Demand Responsive Public Transport Service. **Proceedings of the 10th ITS European Congress**, p. 16-19.

SCHELTES, ARTHUR; CORREIA, Gonçalo Homem de Almeida. Exploring the use of automated vehicles as last mile connection of train trips through an agent-based simulation model: An application to Delft, Netherlands. **International Journal Of Transportation Science And Technology**, [s.l.], v. 6, n. 1, p.28-41, jun. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijtst.2017.05.004>.

SHERAZI, HUSNAIN; IQBAL, RAZI (2015). **Design of an algorithm for optimum route selection for buses in demand responsive transit systems**. Science International. 27. 3213-3216.

SIMÕES, P. M. L. **A alteração do Uso do Solo no Município de Ibité e Consequências Associadas**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 80. 2007.

STEFANSDOTTER, A. et al. **Economic benefits of peer-to-peer transport services. Copenhagen Economics**. Stockholm, 2015.

STIGLIC, Mitja; AGATZ, Niels; SAVELSBERGH, Martin; GRADISAR, Mirko. Enhancing urban mobility: integrating ride-sharing and public transit. **Computers & Operations Research**, [S.L.], v. 90, p. 12-21, fev. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2017.08.016>.

TOL, Lorena. **Mobility as a Service Mobility as a Service**. 2017. 46 f. (Bachelor Thesis Science and Innovation Management) – Major of the Liberal arts and Sciences Program, Utrecht University, Utrecht, 2017.

TORRES, Thamara França do Carmo. **A IMPORTÂNCIA DA ÚLTIMA MILHA NO PLANEJAMENTO DO TRANSPORTE URBANO DE ALTA CAPACIDADE**. 2019. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

VARGAS, Hugo Couto Tavares. **IMPLANTAÇÃO DO BRT TRANSOESTE EM SANTA CRUZ – RJ: seu impacto no trânsito e a qualidade na conexão entre modais**. 2017. 177 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

VASCONCELLOS, Eduardo Alcântara de. **Políticas de Transporte no Brasil: a construção da mobilidade excludente**. Barueri: Manole, 2013. 306 p.

WANG, Hai; ODoni, Amedeo. Approximating the Performance of a “Last Mile” Transportation System. **Transportation Science**, [S.L.], v. 50, n. 2, p. 659-675, maio 2016. Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS). <http://dx.doi.org/10.1287/trsc.2014.0553>.