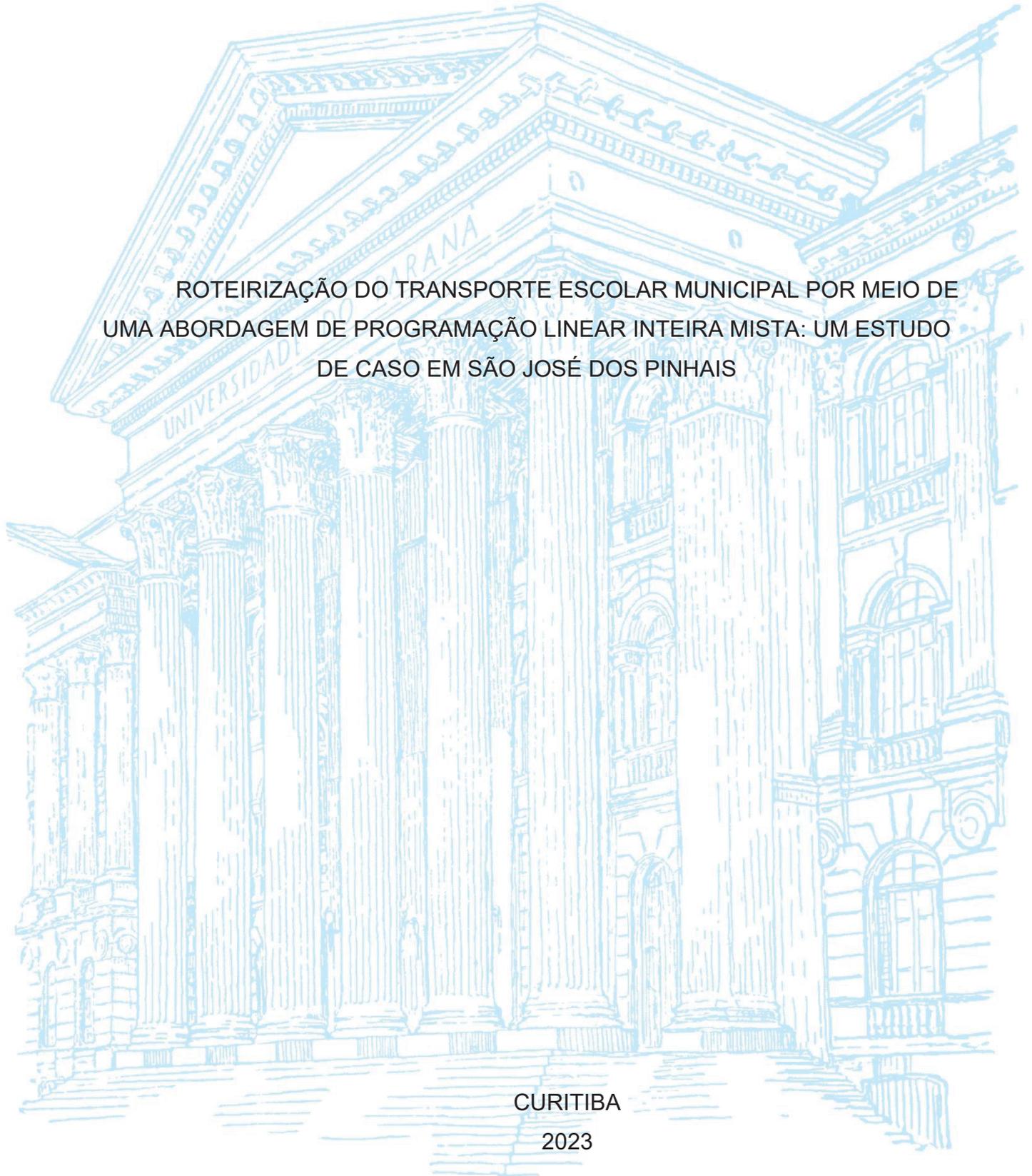


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DIEGO SANTIN INOUE

ROTEIRIZAÇÃO DO TRANSPORTE ESCOLAR MUNICIPAL POR MEIO DE
UMA ABORDAGEM DE PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA MISTA: UM ESTUDO
DE CASO EM SÃO JOSÉ DOS PINHAIS



CURITIBA

2023

DIEGO SANTIN INOUE

ROTEIRIZAÇÃO DO TRANSPORTE ESCOLAR MUNICIPAL POR MEIO DE
UMA ABORDAGEM DE PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA MISTA: UM ESTUDO
DE CASO EM SÃO JOSÉ DOS PINHAIS

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Gestão de Organizações, Liderança e Decisão, Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Gestão de Organizações, Liderança e Decisão.

Orientador: Prof. Dr. Cassius Tadeu Scarpin

CURITIBA

2023

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS

Inoue, Diego Santin

Roteirização do transporte escolar municipal por meio de uma abordagem de programação linear inteira mista : um estudo de caso em São José dos Pinhais / Diego Santin Inoue. – Curitiba, 2023.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Programa de Pós-Graduação em Gestão de Organizações, Liderança e Decisão. Orientador: Prof. Dr. Cassius Tadeu Scarpin.

1. Administração pública. 2. Transporte escolar. 3. Pesquisa operacional. 4. Programação linear. I. Scarpin, Cassius Tadeu. II. Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Gestão de Organizações, Liderança e Decisão. III. Título.

Bibliotecária: Maria Lidiane Herculano Graciosa CRB-9/2008



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS SOCIAIS E APLICADAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO GESTÃO DE
ORGANIZAÇÕES, LIDERANÇA E DECISÃO - 40001016172P9

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação GESTÃO DE ORGANIZAÇÕES, LIDERANÇA E DECISÃO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de DIEGO SANTIN INOUE intitulada: ROTEIRIZAÇÃO DO TRANSPORTE ESCOLAR MUNICIPAL POR MEIO DE UMA ABORDAGEM DE PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA MISTA: UM ESTUDO DE CASO EM SÃO JOSÉ DOS PINHAIS, sob orientação do Prof. Dr. CASSIUS TADEU SCARPIN, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 25 de Maio de 2023.

Assinatura Eletrônica
25/05/2023 17:10:31.0
CASSIUS TADEU SCARPIN
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica
26/05/2023 11:12:53.0
ALDRIAN FERNANDO MATOSO
Avaliador Externo (SECRETARIA DE EDUCAÇÃO DO ESTADO DO
PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
25/05/2023 15:14:19.0
GUILHERME VINICYUS BATISTA
Avaliador Externo (40001016)

Assinatura Eletrônica
25/05/2023 14:56:14.0
EDUARDO ALVES PORTELA SANTOS
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Avenida Prefeito Lothario Meissner, 632 - CURITIBA - Paraná - Brasil
CEP 80210-170 - Tel: (41) 3360-4464 - E-mail: ppgold@ufpr.br

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.
Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 286958
Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp>
e insira o código 286958

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família que não mediu esforços para me apoiar neste desafio, em especial, minha esposa Tânia Mara Magalhães, que enfrentou comigo todas as etapas desse processo, comemorando as conquistas e me ajudando a superar as dificuldades. Foi a primeira a incentivar minha entrada no curso e deixando, temporariamente, um sonho de estudo no mestrado para me ajudar nesse ciclo.

Agradeço minha mãe, Laine, e minhas filhas, Pietra e Bianca, pela paciência e pelo apoio incondicional durante todo esse momento de dedicação ao estudo.

Agradecimento mais que especial ao meu orientador, professor Dr. Cassius Tadeu Scarpin, uma pessoa batalhadora e inspiradora, que à todo momento construiu comigo esse trabalho. Pelo respeito, ensinamentos e conselhos passados em nossas discussões. Fazer esse trabalho com você foi um enorme aprendizado.

Aos amigos e colegas da secretaria de educação de São José dos Pinhais, que contribuíram em todos os momentos em que solicitei apoio e suporte, em especial, ao secretário Aldrian Matoso, que me deu autonomia para a realização do estudo.

Aos amigos e familiares, que sempre entenderam minha ausência em encontros e me apoiaram na realização desta importante etapa em minha vida.

Agradeço a DEUS pelo discernimento nas decisões e pela saúde para enfrentar esse momento da melhor maneira possível.

RESUMO

Neste trabalho apresenta-se uma proposta de programação linear inteira mista para a roteirização do transporte escolar no município de São José dos Pinhais. Tem-se a intenção de propor a inclusão dos conceitos e a aplicação de técnicas de Pesquisa Operacional na gestão pública escolar. O desenvolvimento da proposta mostra que, a fim de auxiliar na tomada de decisão no serviço de transporte escolar, tem-se a real possibilidade de reduzir o gasto financeiro aplicado nesta importante área da gestão pública. Com a abordagem desenvolvida foi possível identificar gargalos e possíveis melhorias de rotas, contribuindo no ganho de tempo de espera e de entrega dos alunos e, conseqüentemente, reduzindo o custo total da operação. A abordagem apresentada foi construída baseada em 4 fases sequenciais, além da estruturação dos dados de entrada. São elas: 1) a obtenção da solução da quantidade e tipo de ônibus (capacidade de transporte para uma escola em um período a partir do clássico problema da mochila, 2) definindo-se os ônibus e suas respectivas capacidades, definiu-se os agrupamentos de alunos a serem coletados ou entregues a partir do problema de p-medianas capacitadas, 3) para cada agrupamento de alunos, aplicou-se o modelo de roteirização de veículos de Miller, Tucker e Zemlin (1960), obtendo-se a sequência de coleta (ou entrega) dos alunos e 4) apresentação gráfica das rotas obtidas para fins de controle e comparação das rotas executadas. A Pesquisa Operacional pode contribuir na gestão pública oferecendo dados para auxiliar na tomada de decisão dos gestores. Os resultados obtidos mostram uma diminuição de 4,8 km, em média, por escola testada, assim como uma redução significativa de 9,7 minutos em cada rota, em média. Este último resultado indica um ganho de qualidade na gestão pública escolar caracterizada pela diminuição da espera do aluno e também na minimização do tempo que o aluno ficará em trânsito para chegar na escola ou em sua casa após o período letivo.

Palavras-chaves: Gestão do Transporte Escolar Público; Pesquisa Operacional; Programação Linear Inteira Mista.

ABSTRACT

In this work we present a mixed integer linear programming proposal for school transportation routing in the city of São José dos Pinhais. The intention is to propose the inclusion of the concepts and the application of Operations Research techniques in public school management. The development of the proposal shows that, in order to help in the decision making process of the school transportation service, there is the real possibility of reducing the financial expenses applied in this important area of public management. With the approach developed it was possible to identify bottlenecks and possible route improvements, contributing to gain waiting and delivery time for students and, consequently, reducing the total cost of the operation. The approach presented was built based on 4 sequential phases, besides the structuring of the input data. They are: 1) obtaining the solution of the quantity and type (transport capacity) of buses for a school in a period from the classic backpack problem, 2) defining the buses and their respective capacities, the clusters of students to be collected or delivered were defined from that of the capacitated p-means problem, 3) for each grouping of students, the vehicle routing model of Miller, Tucker and Zemlin (1960) was applied, obtaining the sequence of collection (or delivery) of the students and 4) graphic presentation of the routes obtained for the purpose of control and comparison of the routes executed. Operations Research can contribute to public management by offering data to assist managers in their decision making. The results obtained show a reduction of 4.8 km, on average, per school tested, as well as a significant reduction of 9.7 minutes in each route, on average. This last result indicates a quality gain in public school management characterized by the reduction of the student's waiting time and also in minimizing the time that the student will spend in transit to get to school or home after the school period.

Keywords: Public School Transportation Management, Operations Research, Mixed Integer Linear Programming.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Valor recebido pela secretaria nos últimos 10 anos. Fonte: Secretaria Municipal de Educação 2022	8
Gráfico 2 – Valor gasto com o transporte escolar nos últimos 10 anos. Fonte: Secretaria Municipal de Educação 2022	9
Gráfico 3 – Valor gasto com o transporte escolar em relação ao saldo de orçamento sem contabilizar o gasto com a folha de pagamento nos últimos 10 anos. Fonte: Secretaria Municipal de Educação 2022	10

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Impacto do valor gasto com o serviço de transporte escolar no orçamento da secretaria de educação. Fonte: Secretaria Municipal de Educação 2022	9
Tabela 2 – Impacto do valor gasto com folha de pagamento dos servidores no orçamento da secretaria de educação. Fonte: Secretaria Municipal de Educação 2022	10
Tabela 3 – Impacto do valor gasto com o serviço de transporte escolar no restante do orçamento, sem o gasto com a folha de pagamento, da secretaria de educação. Fonte: Secretaria Municipal de Educação 2022	10
Tabela 4 – Impacto do valor repassado pelo Governo do Estado do Paraná no gasto com o serviço de transporte escolar. Fonte: Secretaria Municipal de Educação 2022	18

LISTA DE SIGLAS

COVID-19 – Corona Vírus Disease 2019

IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento e Estatística

LDB – Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional

PIB – Produto Interno Bruto

SEED – Secretaria de Estado da Educação do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	OBJETIVO	13
1.1.1	Objetivo Geral	13
1.1.2	Objetivos específicos	13
1.2	LIMITAÇÕES DO TRABALHO	14
1.3	CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO	14
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	16
2.1	FROTA DISPONÍVEL	18
2.2	GESTÃO DO TRANSPORTE	19
2.3	GESTÃO DE RECURSOS FINANCEIROS	19
2.4	GESTÃO DE DECISÃO	20
3	REVISÃO DA LITERATURA	22
3.1	GESTÃO PÚBLICA	22
3.2	SERVIÇO PÚBLICO DE EDUCAÇÃO	22
3.3	TRANSPORTE ESCOLAR	23
3.4	PROBLEMA DO ROTEAMENTO DE TRANSPORTE ESCOLAR	25
3.5	PESQUISA OPERACIONAL APLICADA AO TRANSPORTE ESCOLAR	26
4	PROPOSTA METODOLÓGICA	27
4.1	GESTÃO DAS OPERAÇÕES	28
4.2	MODELOS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR	28
4.2.1	Problema da Mochila	29
4.2.2	Problema das p-Medianas Capacitadas	30
4.2.3	Problema de Roteirização de Veículos	33
4.3	ABORDAGEM MATEMÁTICA COMPLETA	35
4.4	METODOLOGIA DE ANÁLISE SISTEMA	37
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
5.1	RESULTADOS QUANTITATIVOS	39
5.1.1	Escola Alfredo José Eichel	39
5.1.2	Colégio Tiradentes	44
5.2	RESULTADOS QUALITATIVOS SISTÊMICOS	48

5.2.1	Controle de Frota	48
5.2.2	Qualidade de Vida para Alunos	49
5.2.3	Vantagens na Licitação	49
5.2.4	Controle do Serviço Público de Transporte Escolar	49
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	50
7	REFERÊNCIAS.....	52
8	APÊNDICES.....	57

1 INTRODUÇÃO

A gestão de organizações vem ganhando destaque nas pesquisas pelo fato de diagnosticar as possibilidades de melhoria nos processos a fim de gerar novos e melhores resultados. Dentro da gestão de organizações, vamos direcionar o estudo na gestão pública, buscando analisar alguns desafios e possibilidades que resultem em avanços na prestação do serviço e na redução de recursos financeiros.

A gestão pública precisa encontrar métodos com maior eficiência para a prestação de serviços à população. O ambiente educacional público também necessita de métodos efetivos para a otimização dos recursos disponíveis.

A eficiência pode ser definida como [...] fazer o melhor com menores custos, utilizando a racionalidade econômica que busca maximizar os resultados e minimizar os custos, preocupando-se com os mecanismos mais econômicos e viáveis para a obtenção do êxito da ação estatal [...]. (TORRES,2004, p. 175)

A não utilização de métodos consagrados na literatura para a gestão dos serviços de logística educacional pode ocasionar um gasto de recursos financeiros públicos acima do necessário, prejudicando a possibilidade de ampliação ou melhoria dos serviços educacionais públicos. Na possibilidade de minimizar o custo econômico, encontramos em Thangiah et al. (2008) algumas demonstrações de heurísticas para resolver problemas de roteamento escolar que poderiam levar à redução de custos para os governos. A possibilidade de aproximar os conceitos teóricos com as ações práticas da gestão pública foi a principal motivação para o avanço deste estudo.

Nos serviços públicos municipais, a área que recebe o maior volume de recursos financeiros é o setor da educação, conforme o artº 212 da Constituição Federal, é obrigatório o gasto de um valor mínimo de 25% dos valores recolhidos. No universo da gestão pública da educação, um serviço que é de extrema importância e que absorve um valor financeiro considerável é o serviço de transporte escolar. Serviço esse que tem como premissa a busca e entrega dos estudantes de suas residências até suas unidades educacionais.

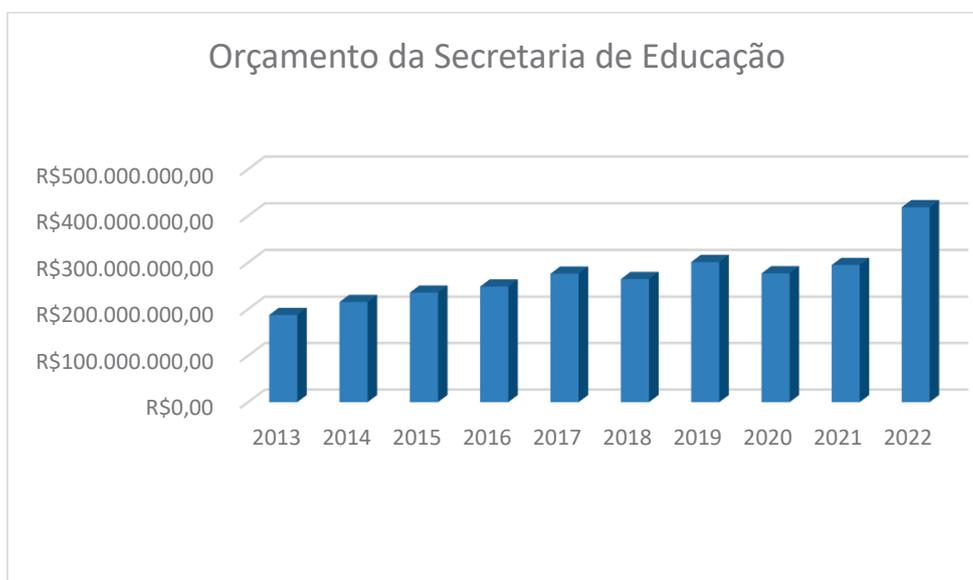
No município de São José dos Pinhais, o gasto com o serviço de transporte escolar nos últimos 10 anos ficou na média aproximada de R\$ 11,8 milhões anuais. O

serviço no município é realizado somente para estudantes residentes na área rural, conforme a Lei municipal nº 1802, de 18 de agosto de 2011, mas a entrega pode acontecer em diversas unidades escolares da região rural e urbana.

Nestes serviços, um conjunto de veículos faz a coleta e/ou entrega aos consumidores em diversos pontos de uma região, com o objetivo principal de determinar um conjunto de rotas que satisfaçam a um dado conjunto de restrições, minimizando o custo total do sistema considerado (Bodin *et al.*, 1983; Fisher, 1995; Lu e Dessouky, 2004).

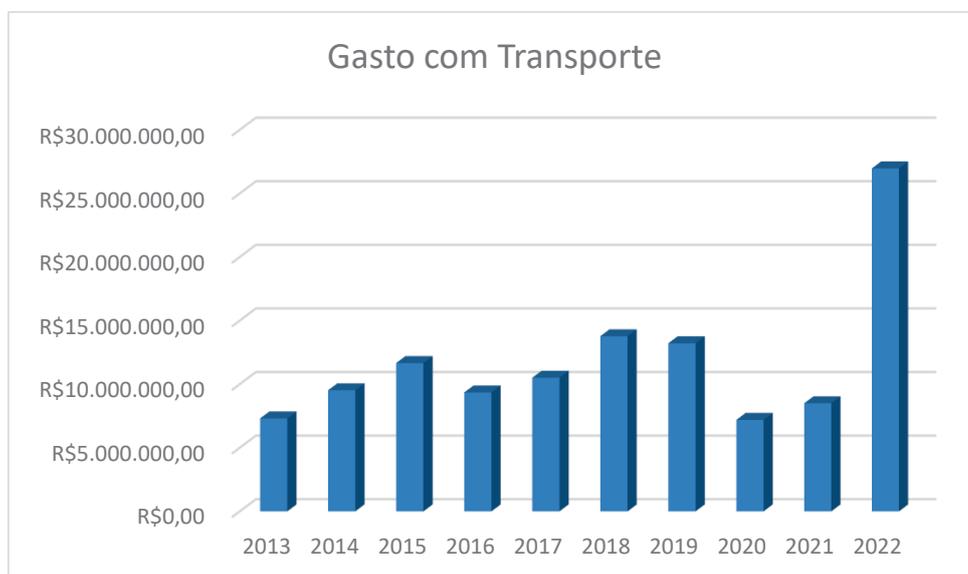
São José dos Pinhais, segundo o Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES) em seu último levantamento em 2018, é o 2º município do estado no quesito produto interno bruto (PIB) e o 38º do país, demonstrando a importância econômica do município. Esse é um dos fatores que motiva a busca por empregos e o aumento de sua população, e conseqüentemente um aumento na procura pelo serviço público. Na última década o seu orçamento segue numa crescente, e conseqüentemente o gasto com o serviço de transporte escolar segue na mesma frequência, conforme ilustrado nos gráficos 1 e 2.

GRÁFICO 1. VALOR RECEBIDO PELA SECRETARIA NOS ÚLTIMOS 10 ANOS.



Fonte: Secretaria Municipal de Educação de São José dos Pinhais

GRÁFICO 2. VALOR GASTO COM TRANSPORTE ESCOLAR NOS ÚLTIMOS 10 ANOS.



Fonte: Secretaria Municipal de Educação de São José dos Pinhais

Para entender o impacto do valor gasto com o serviço de transporte escolar dentro do orçamento da secretaria de educação, segue os valores referentes aos últimos 10 anos, conforme a tabela:

TABELA 1 – ORÇAMENTO E GASTOS DA SECRETARIA DE EDUCAÇÃO

ANO	ORÇAMENTO GERAL	GASTO COM TRANSPORTE	PERCENTUAL
2013	R\$ 187.711.223,51	R\$ 7.310.632,30	3,89
2014	R\$ 215.452.438,87	R\$ 9.526.316,47	4,42
2015	R\$ 235.795.551,95	R\$ 11.662.975,09	4,95
2016	R\$ 248.916.731,96	R\$ 9.349.835,44	3,76
2017	R\$ 276.438.057,75	R\$ 10.510.754,37	3,80
2018	R\$ 264.851.774,52	R\$ 13.774.353,47	5,20
2019	R\$ 301.266.476,85	R\$ 13.219.177,22	4,39
2020	R\$ 277.078.764,81	R\$ 7.197.716,27	2,62
2021	R\$ 294.999.864,18	R\$ 8.506.350,24	5,20
2022	R\$ 418.566.195,98	R\$ 26.972.081,70	4,39

Fonte: Secretaria Municipal de Educação de São José dos Pinhais

É possível identificar na tabela que o percentual de recurso gasto fica na média de 4,04%, considerando que no ano de 2020 o gasto foi menor que a média pelo fato da ocorrência da pandemia do Covid-19, impactando diretamente no serviço de transporte, visto que as aulas foram paralisadas no modelo presencial.

Para compreender a relevância do valor gasto com o serviço de transporte é importante também informar que do total recebido anualmente pela secretaria de educação uma média de 74,5% é destinado para o pagamento de folha de pagamento dos servidores, restando os 25,5% para aquisições, obras, manutenções, investimentos em geral, merenda e o transporte. Considerando esses números, e o saldo restante do orçamento após o gasto com a folha de pagamento, qualquer otimização para redução de custos no serviço de transporte potencializará o poder público para investir em outros serviços.

TABELA 2 – FOLHA DE PAGAMENTO DA SECRETARIA DE EDUCAÇÃO

ANO	ORÇAMENTO GERAL	GASTO COM FOLHA DE PAGAMENTO	PERCENTUAL
2013	R\$ 187.711.223,51	R\$ 132.495.690,07	70,58
2014	R\$ 215.452.438,87	R\$ 156.036.803,80	72,42
2015	R\$ 235.795.551,95	R\$ 176.553.672,55	74,87
2016	R\$ 248.916.731,96	R\$ 191.210.944,54	76,81
2017	R\$ 276.438.057,75	R\$ 209.876.733,74	75,92
2018	R\$ 264.851.774,52	R\$ 209.596.945,23	79,13
2019	R\$ 301.266.476,85	R\$ 223.984.979,05	74,34
2020	R\$ 277.078.764,81	R\$ 217.431.987,59	78,47
2021	R\$ 294.999.864,18	R\$ 213.280.783,29	70,50
2022	R\$ 418.566.195,98	R\$ 271.868.685,83	64,95

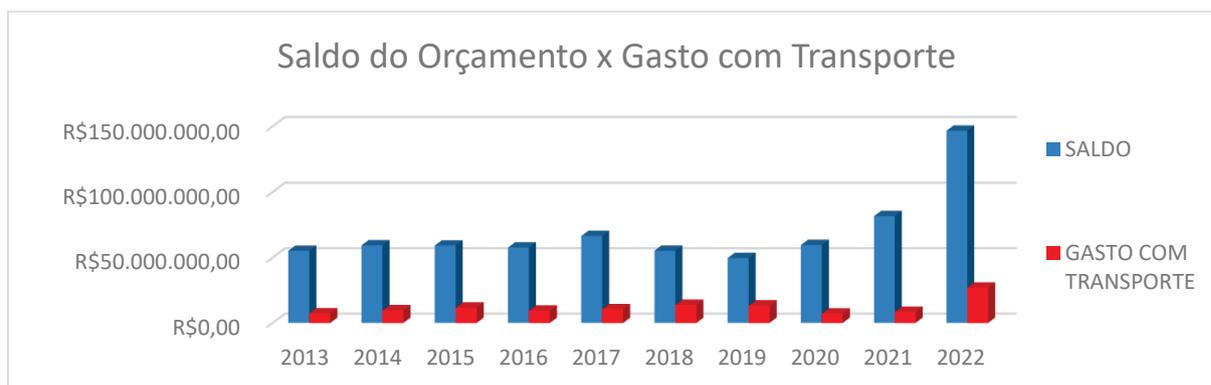
Fonte: Secretaria Municipal de Educação de São José dos Pinhais

TABELA 3 – GASTOS COM TRANSPORTE DA SECRETARIA DE EDUCAÇÃO

ANO	SALDO DO ORÇAMENTO S/ FOLHA	GASTO COM TRANSPORTE	PERCENTUAL
2013	R\$ 55.215.533,44	R\$ 7.310.632,30	13,24
2014	R\$ 59.415.635,07	R\$ 9.526.316,47	16,03
2015	R\$ 59.241.879,40	R\$ 11.662.975,09	19,68
2016	R\$ 57.705.787,42	R\$ 9.349.835,44	16,20
2017	R\$ 66.561.324,01	R\$ 10.510.754,37	15,79
2018	R\$ 55.254.829,29	R\$ 13.774.353,47	24,92
2019	R\$ 49.706.247,25	R\$ 13.219.177,22	26,59
2020	R\$ 59.646.777,22	R\$ 7.197.716,27	12,06
2021	R\$ 81.719.080,89	R\$ 8.506.350,24	10,40
2022	R\$ 146.697.510,15	R\$ 26.972.081,70	18,38

Fonte: Secretaria Municipal de Educação de São José dos Pinhais

GRAFICO 3. GASTO COM TRANSPORTE ESCOLAR x SALDO DE ORÇAMENTO



Fonte: Secretaria Municipal de Educação de São José dos Pinhais

Analisando o gasto com o serviço do transporte, excluindo os valores gastos obrigatoriamente com a folha de pagamento dos servidores, fica evidente que toda economia conquistada nesse objeto é relevante para a possibilidade de ampliação de outros serviços necessários para a gestão educacional do município.

Um fator relevante no serviço público de transporte escolar é compreender o processo de mudança na execução, transitando o serviço que anteriormente era todo realizado pela prefeitura, desde a aquisição do veículo, a contratação do motorista e toda a manutenção, para a terceirização do serviço para empresas especializadas, no qual todo o custo é embutido no quilometro rodado. Nesta situação cabe ao município o repasse dos valores financeiros por quilômetro rodado e a supervisão do serviço realizado. Por esse motivo tem-se como importante a introdução dos conceitos da Pesquisa Operacional com intenção de melhoria das rotas e redução no gasto com o serviço. Com esta visão, o serviço a ser contratado deve ser melhorado continuamente e a gestão pública e o serviço prestado passam a ter a otimização como intrínseca em sua realização e controle.

Considerando que a secretaria de um município responsável pelas ações educacionais no município não possui recursos financeiros suficientes, é necessário otimizá-los para poder entregar todos os serviços propostos com qualidade. A melhoria das ações automaticamente passa pela tomada de decisão dos gestores, a compreensão da necessidade de ajustes e a busca por conhecimentos que auxiliem nessa decisão. Os gestores de organizações públicas trabalham com algumas interferências em seus processos, que precisam ser compreendidas para entender algumas decisões.

A Pesquisa Operacional é utilizada na Administração com grande sucesso desde a Segunda Guerra Mundial e continua oferecendo um suporte científico robusto para a solução das mais diversas necessidades com que o gerente de qualquer organização possa se deparar, apresentando um suporte prático, simples e eficiente para a solução de muitos problemas em Administração aplicada. (Santos, Simonetto e Ferreira. 2017, pg.851)

A Pesquisa Operacional pode auxiliar na tomada de decisão dos gestores. Segundo Belfiore e Fávero, (2013), uma área que tem a finalidade de proporcionar informações cada vez mais precisas, claras e apropriadas à tomada de decisões, com base em ambientes competitivos, é a Pesquisa Operacional (PO), que consiste na

utilização de um método científico (modelos matemáticos, estatísticos e algoritmos computacionais) para a tomada de decisões, e que vem assumindo uma importância cada vez maior para o tratamento e análise de dados.

Barcelos, Evangelista e Segatto (2015) caracterizam a Pesquisa Operacional (PO) como uma técnica para a tomada de decisão baseada em modelagens matemáticas de problemas, que busca soluções ótimas para as dificuldades organizacionais.

Em estudos de tomada de decisão organizacional, diferentes modelos de organizações representam diferentes variáveis relevantes para o processo de decisão. Baldrige (1971) descreveu três arquétipos organizacionais. Um é o modelo burocrático de organização, com ênfase em critérios universalistas, formalização de regras e procedimentos, hierarquia de autoridade, canais de comunicação bem definidos e preocupação com a eficiência e alcance de metas. O segundo modelo é o de um grupo de profissionais organizado em regime de colegiado. Este modelo enfatiza o contexto interpessoal e a tomada de decisões por meio de processos de consulta, em vez de recorrer à autoridade formal. O terceiro modelo, é o modelo político. Nesse sentido, a organização é vista como uma coalizão; há conflito entre os participantes e a resposta para quais decisões serão tomadas deve ser encontrada no exame de quem tem o poder de aplicar em um determinado contexto de decisão. Assim, o poder, ao invés do que é ótimo para atingir algum objetivo organizacional, torna-se uma variável de decisão importante.

Dentro da gestão pública do município em estudo é percebido um modelo de gestão próximo ao terceiro modelo, onde o ambiente político interfere nas decisões.

A introdução de métodos perpassa por algumas mudanças de conceitos e práticas. Desta forma, muitos esforços vêm sendo feitos por diversos pesquisadores na busca de técnicas heurísticas que possam oferecer boas soluções para o problema, com baixo custo computacional (Braca et al., 1997).

O governo eletrônico, bem como a governança e-governança, ainda são vistos principalmente como mudanças na entrega de políticas, mas não na formação de políticas. Essa omissão está se tornando cada vez mais difícil de justificar, porque a revolução tecnológica nos domínios da comunicação e das análises de dados tem movido o governo eletrônico para além do conceito de meros sistemas de entrega para serviços públicos (Dunleavy et al. [2006a](#); Dunleavy e Margetts [2010](#); Dunleavy et al. [2006b](#)).

A possibilidade de aplicação de metodologias da pesquisa operacional, utilizando algoritmos no auxílio para a busca de melhores resultados incentiva a criação de sistemas específicos para determinadas ações. A programação linear inteira mista é um exemplo de aplicação já consagrada na literatura que é utilizada para esse fim.

Partindo do princípio que não existe uma metodologia estruturada na gestão do transporte escolar no município de São José dos Pinhais e também na necessidade de otimizar os recursos, a pesquisa desenvolvida aborda uma metodologia baseada na Programação Linear Inteira Mista. Essa abordagem teve por objetivo a otimização das rotas atuais para resolver o problema de definição de transporte escolar e suas naturais melhorias gerenciais.

Por fim, todo recurso economizado nesta melhoria de rotas poderá ampliar outros serviços no setor da educação ou investir na qualidade do transporte escolar.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo Geral

Utilizar a programação linear inteira mista na melhoria da rota de transporte para a tomada de decisão na definição do transporte escolar no município de São José dos Pinhais/PR.

1.1.2 Objetivos específicos

- Levantamento dos dados referente aos usuários do transporte público escolar;
- Definir o conjunto de estudantes por unidade escolar e por período;
- Definir a quantidade e a capacidade dos ônibus para atender cada período de cada unidade escolar;
- Definir qual grupo de estudante será designado para cada ônibus;
- Utilizar uma programação de fácil acesso para a gestão do transporte escolar;
- Definir a melhor rota possível para cada ônibus;

- Discutir os resultados para propor formas de economia para a gestão do transporte escolar público;

1.2 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Na gestão pública encontrada no município foi identificado alguns entraves que limitam o estudo, como a falta de dados sobre o serviço que era realizado, a falta de preparo dos servidores quanto a compreensão de um sistema computacional que pudesse auxiliar na decisão de rotas, escalas, monitoramento, veículos e o serviço em geral. Também a falta de interesse em modificar contratos e ajustes historicamente definidos, muito deles por parte das empresas prestadoras do serviço e motoristas que realizam o trabalho. Sem deixar de constar que existiu interferências políticas para a limitação de informações.

1.3 CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO

Com o estudo será possível perceber que a apropriação de métodos da pesquisa operacional na gestão de serviços públicos pode melhorar o atendimento e reduzir os custos. Que a utilização de programação de código computacionais podem auxiliar a tomada de decisões dos gestores públicos. Visualizar a importância da otimização no serviço de transporte escolar. E compreender um pouco da dinâmica dos processos no serviço público.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho seguirá com o capítulo 2, onde apresentamos a descrição do problema identificado, com a informação territorial do município, da obrigatoriedade da prestação do serviço de transporte escolar, com os dados relativos ao serviço e recursos, e finaliza com o relato sobre a gestão deste serviço.

No capítulo 3, apresenta a revisão de literatura utilizada, trazendo as referências que tratam sobre os assuntos de gestão pública, serviço público de educação, transporte escolar, problema do roteamento de transporte escolar e da pesquisa operacional aplicada ao transporte escolar.

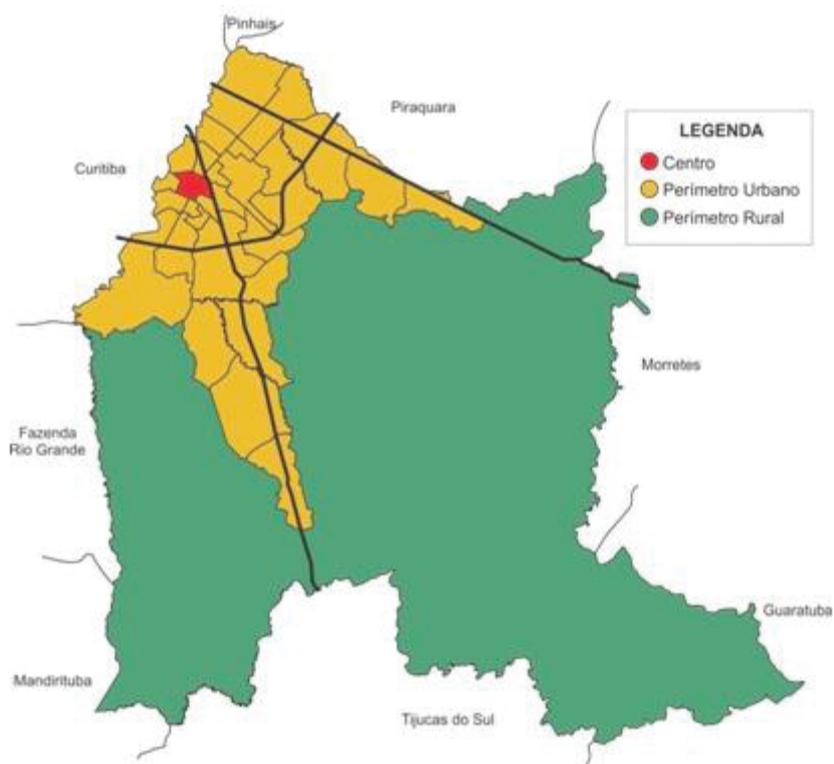
O capítulo 4 traz a proposta metodológica, os modelos matemáticos programados e os testes computacionais.

No capítulo 5 apresenta-se os resultados quantitativos e qualitativos e as discussões. E por fim, no capítulo 6, as conclusões e sugestões de trabalhos futuros.

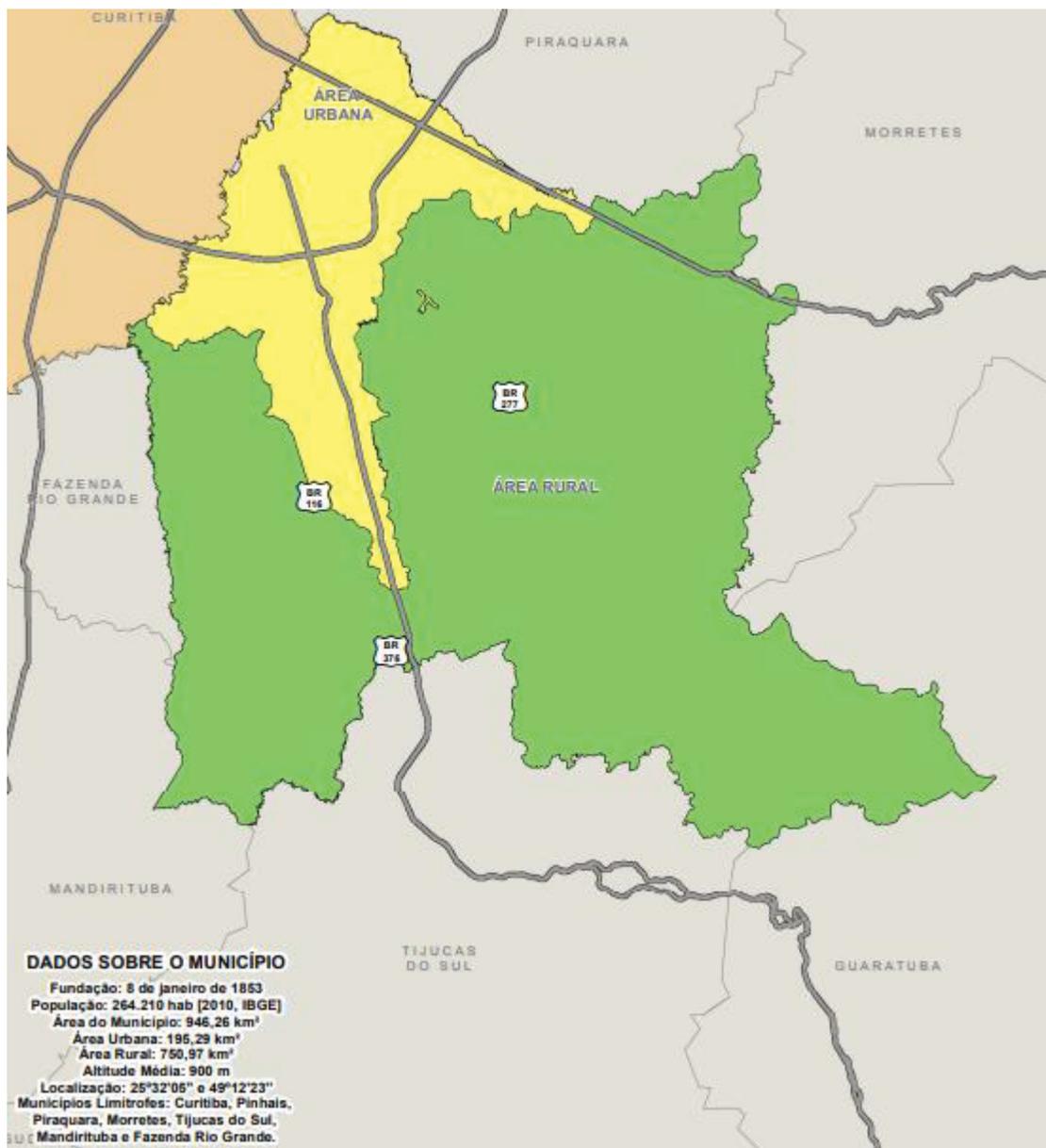
2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

O município de São José dos Pinhais possui uma rede educacional robusta, com mais de 140 unidades públicas e um quantitativo superior a 40 mil estudantes. Dentre estes, uma quantidade acima de 20% utilizam o transporte escolar disponibilizado pelo município. Através da Lei Nº 1802 de 18 de agosto de 2011, o município precisa fornecer transporte para todos os estudantes de idade obrigatória (entre 4 e 17 anos) na rede educacional que residam na área rural. São José dos Pinhais é um município com vasta área territorial rural, ultrapassando os 79% de sua área total, o que justifica a intenção do estudo em melhorar as rotas do transporte escolar.

MAPA 1. CIDADE, PARTE RURAL E URBANA.



Fonte: Site da Prefeitura Municipal de São José dos Pinhais



Fonte: Site da Prefeitura Municipal de São José dos Pinhais

A organização e o planejamento operacional para o transporte é realizado dentro de um setor da Secretaria Municipal de Educação, por um grupo de servidores. O serviço atualmente é realizado por meio da verificação do quantitativo de estudantes que solicitam o serviço e distribuídos pela quantidade de veículos de frota própria ou então em linhas e rotas licitadas para o atendimento de empresas terceirizadas.

O planejamento logístico atual é realizado de maneira empírica, pelo conhecimento dos profissionais responsáveis e que não utiliza uma metodologia científica para a referida tarefa. Estes profissionais estruturam as rotas através de diagnóstico presencial e da utilização de mapas. O estudante residente na área rural do município solicita o transporte escolar no momento que realiza sua matrícula na

unidade escolar. A solicitação pode acontecer a qualquer momento e assim que é recebida pela secretaria, é necessário reajustar as rotas para atender o pedido.

É relevante entender que o serviço de transporte acontece da seguinte maneira: a frota de ônibus inicia o serviço de busca no começo da manhã com a previsão de chegada nas unidades de ensino até às 7:00. Faz a busca dos estudantes aproximadamente às 11:30 nas unidades de ensino e realiza a rota de entrega e consecutivamente inicia a rota para a busca dos estudantes do período da tarde, finalizando sua entrega na unidade de ensino até as 13:00. Repetindo o modelo de serviço no final do horário escolar vespertino e realizando a rota no serviço noturno, quando necessário. Toda otimização favorecerá os estudantes para que o tempo de deslocamento seja o menor possível.

2.1 FROTA DISPONÍVEL

O município dispõe de uma frota com 54 veículos próprios e 98 veículos de empresas terceirizadas, atendendo em 2022 um total de 8.745 estudantes. Todos esses veículos realizam a quantidade de 123 roteiros para atender a demanda. Segue a capacidade dos veículos de frota própria:

- 22 veículos com capacidade de 54 pessoas;
- 13 veículos com capacidade de 57 pessoas;
- 03 veículos com capacidade de 58 pessoas;
- 03 veículos com capacidade de 56 pessoas;
- 03 veículos com capacidade de 45 pessoas;
- 04 veículos com capacidade de 34 pessoas;
- 01 veículos com capacidade de 33 pessoas;
- 01 veículos com capacidade de 31 pessoas;
- 03 veículos com capacidade de 26 pessoas;
- 01 veículos com capacidade de 23 pessoas;

Num total de 2.707 estudantes atendidos com o veículos de frota própria, ficando 6.038 estudantes que precisam ser atendidos por veículos terceirizados.

2.2 GESTÃO DO TRANSPORTE

O serviço de transporte escolar é disponibilizado somente para estudantes residentes na área rural do município. Podendo ser estudante da rede de ensino estadual ou municipal. O transporte acontece nos períodos manhã, tarde e noite de segunda a sexta conforme o calendário escolar.

A orientação com relação ao serviço de transporte é que o estudante seja matriculado na unidade de ensino mais próximo a sua residência, para que concentre o máximo possível os estudantes da região local e não gere deslocamentos longos entre o ponto de partida e de chegada. O mesmo veículo pode buscar estudantes da rede municipal e estadual, não precisando fazer a diferenciação do público na distribuição do serviço.

A entrada e saída de estudantes no serviço de transporte pode ocorrer a qualquer momento do ano letivo, sendo necessário ajustes de rota na maioria das alterações de público.

2.3 GESTÃO DE RECURSOS FINANCEIROS

O serviço é realizado pelo município para todos os estudantes cadastrados, mesmo ele estudando em unidades de ensino estadual. O governo do estado do Paraná repassa um valor financeiro conforme a quantidade de estudantes atendidos, e pelo levantamento dos últimos anos, o valor repassado não cobre a despesa com o serviço, tendo em vista que aproximadamente 58% dos estudantes usuários do transporte escolar são de colégios estaduais, sobrando para o município arcar com a diferença, conforme verificado na tabela abaixo.

TABELA 4 – REPASSE ESTADUAL DE VERBA PARA O TRANSPORTE

ANO	GASTO COM TRANSPORTE ESCOLAR	REPASSE DO GOVERNO ESTADUAL	PERCENTUAL
2013	R\$ 7.310.632,30	R\$ 697.094,46	9,53
2014	R\$ 9.526.316,47	R\$ 781.983,25	8,20
2015	R\$ 11.662.975,09	R\$ 1.152.653,37	9,88
2016	R\$ 9.349.835,44	R\$ 1.138.463,77	12,17
2017	R\$ 10.510.754,37	R\$ 1.375.376,09	13,08
2018	R\$ 13.774.353,47	R\$ 2.002.856,97	14,54
2019	R\$ 13.219.177,22	R\$ 2.110.867,19	15,96
2020	R\$ 7.197.716,27	R\$ 853.760,98	11,86
2021	R\$ 13.774.353,47	R\$ 1.635.272,66	11,87
2022	R\$ 13.219.177,22	R\$ 3.173.729,54	24,00

Fonte: Secretaria Municipal de Educação de São José dos Pinhais

Verificou-se que a maioria do recurso financeiro que custeia o transporte escolar é oriundo do município, reforçando mais uma vez a importância de diminuir o custo do serviço. O recurso financeiro para esse serviço é compreendido em diversos itens. Para o serviço de frota própria é avaliado desde a aquisição do veículo, suas manutenções, o combustível, as melhorias necessárias e salário do motorista. Para as frotas de empresas terceirizadas todos os custos do serviço estão embutidos no valor cobrado por quilômetro rodado.

2.4 GESTÃO DE DECISÃO

Considerando que o período para a entrega dos estudantes são as 7:00 no período da manhã, 13:00 no período da tarde e 18:30 no período da noite, é necessário analisar o tempo de trajeto entre o primeiro ponto de busca, a quantidade de estudantes que serão buscados por aquele veículo e o ponto de entrega, para estimar o horário que os motoristas necessitam iniciar seus trabalhos, considerando, neste caso, a possibilidade de otimizar os trajetos para que a carga horária dos servidores não ultrapasse as 40 horas mensais e com isso não gere um custo adicional de hora extra para a prefeitura.

Outro ponto importante para análise é saber que no final de cada período do dia existe a busca do estudante na unidade de ensino e a entrega destes em seus pontos de origem. Após esse serviço, o veículo inicia a busca pelos estudantes em seus pontos de origem do período seguinte para a entrega nas unidades de ensino. Compreendendo mais uma vez que a otimização das rotas auxiliam na execução deste serviço no menor tempo necessário.

A intenção do uso de uma ferramenta exclusiva é que o motorista tenha o acesso constante e consiga visualizar as melhores rotas a todos os instantes, com alterações a cada entrada ou saída de estudantes, e que a decisão sobre quais ruas ele deve seguir seja informado pelo sistema e não por um desejo do servidor.

Como é de conhecimento, é comum que em territórios rurais a quantidade de acessos e ruas são limitadas, sendo que provavelmente no início de cada rota não haverá muitas alterações com a implementação de uma ferramenta, mas com o avanço do trajeto para a região urbana a quantidade de acessos aumenta, possibilitando a melhorias nas rotas que são utilizadas.

Visualizando as restrições existentes e a obrigatoriedade da execução deste complexo serviço que este estudo aborda, juntamente com a intenção de auxiliar na tomada de decisão dos gestores, objetivou-se o desenvolvimento de uma ferramenta computacional que auxilie na geração otimizada e acompanhamento das rotas.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresentará a literatura que apoia este trabalho. A sequência será: Gestão Pública, Serviço Público de Educação, Transporte Escolar, Problema do roteamento do Transporte Escolar e Pesquisa Operacional aplicada ao Transporte Escolar.

3.1 GESTÃO PÚBLICA

Pensar a gestão pública como um ambiente emergente a introdução de conceitos e execuções técnicas/científicas, precisamos entender como os processos ocorrem. No Brasil, o planejamento, em vez de ser visto como um processo, é constantemente entendido como um produto técnico, uma forma de controle da economia e da sociedade (OLIVEIRA, 2006). Abrucio (2007) sugere que a Administração Pública eficiente e efetiva emerge como fruto da cobrança e do controle pela sociedade.

De forma genérica, Druker (1993), que diagnosticou uma “revolução” da gestão a partir dos anos 1950, considera que gestão não se refere à hierarquia organizativa de uma administração clássica, mas à capacidade de promover a inovação sistemática do saber e tirar dela o máximo rendimento na sua aplicação à produção. É, ao mesmo tempo, um espaço de reflexão sobre a administração pública e um marco para o desenvolvimento de ferramentas que permitam melhorar ou facilitar o dia a dia da ação governamental (BRUGUÉ e SUBIRATS, 1996, p. 17).

A eficiência no setor público vem ganhando destaque. Discute-se que a eficiência no setor público pode estar associada à otimização da aplicação de recursos, possibilitando a ampliação da qualidade dos serviços prestados à população (Štastná & Gregor, 2011).

3.2 SERVIÇO PÚBLICO DE EDUCAÇÃO

O serviço educacional no Brasil é baseado na constituição e nas legislações que regem a sua dinâmica de atuação. Por isso, o art. 205 de nossa Constituição Federal de 1988 é claro:

A educação, direito de todos e dever do Estado e da família, será promovida e incentivada com a colaboração da sociedade, visando ao pleno

desenvolvimento da pessoa, seu preparo para o exercício da cidadania e sua qualificação para o trabalho.

Como critério extrínseco, mas intimamente ligados ao processo ensino/aprendizagem, temos o artigo 4º, VIII da Lei de diretrizes e bases da educação nacional (LDB):

VIII – atendimento ao educando, no ensino fundamental público, por meio de programas suplementares de material didático-escolar, transporte, alimentação e assistência à saúde.

Portanto, o transporte deve ser objeto de atenção da parte dos gestores escolares no que se refere à sua relação com as autoridades incumbidas desses atendimentos.

3.3 TRANSPORTE ESCOLAR

O transporte escolar é um serviço de relevância a comunidade educacional, necessitando constantes avanços para produzir os resultados esperados. Conforme o autor Oliveira (2014), a gestão de transportes envolve uma gama de infraestrutura e de um conjunto de ações para gerenciar, vejamos:

A gestão é o ato efetivo de gerir ou gerenciar, ou seja, administrar com o objetivo de atingir objetivos. Assim, gestão de transportes é a administração das transações de bens e serviços de um lugar para o outro e depende de todos os meios e infraestrutura implicados nos movimentos de pessoas e bens. (OLIVEIRA, pág.46, 2014).

Souza (2004) diz que os itinerários podem mudar muito de um ano para o outro devido às demandas pelo transporte escolar rural mudarem nesse período, ou seja, os alunos vão atingindo séries mais avançadas e necessitando mudar de escolas o que acarretaria na mudança de itinerário, dessa forma, faz-se necessário renegociar contratos, sugerindo que a prática de cálculo do custo por quilômetro seja mais adaptável a essa dinâmica.

Kang et al. (2015) realizou um estudo com carga mista, homogênea e o problema de itinerário dos ônibus escolares com diferentes pontos de busca. Os estudantes são agrupados em determinados pontos com o objetivo de minimizar o número de paradas do veículo. Um algoritmo de base genética que minimiza a distância total de viagem foi utilizado para planejar as rotas.

Segundo a Resolução da SEED 777/2013, que regulamenta o uso do transporte escolar público no Paraná:

Art.3º Têm direito ao transporte escolar público os alunos da Educação Básica, da zona rural e urbana, matriculados e que residam a uma distância igual ou superior a 2.000 m (02 quilômetros) das escolas em que estão matriculados. (RES 777, SEED, Art 3º, 2013).

Segundo Krusser *et al.*(2017), a importância do transporte escolar no acultramento da sociedade implica a condição intangível da existência desse serviço, devendo-se observar também as condições objetivas nas quais o transporte é realizado, no sentido de uma fiscalização constante dos processos logísticos, da otimização de custos e especialmente da qualidade da entrega desse serviço.

Lima *et al.*(2016), realizou um estudo e desenvolveu um algoritmo que foi utilizado por 250 municípios no estado de Minas Gerais, com a intenção de auxiliar na melhoria de suas rotas e conseqüentemente na redução do custo desse serviço. Esse estudo reforça a necessidade de estabelecer um suporte com relação a este serviço nos municípios. É comum no Brasil a terceirização deste serviço, e quanto maior a eficiência na geração de rotas, menor será o custo desta operação.

Segundo Park e Kim (2010) é necessário para a etapa de preparação de dados, a rede viária, as unidades de ensino, os veículos e a matriz de origem e destino. Após a seleção dos pontos de busca é gerado os percursos dos veículos para uma determinada unidade escolar. A organização das rotas do transporte escolar no município de São José dos Pinhais ocorre após a efetivação das matrículas dos estudantes nas unidades de ensino. É orientado que os responsáveis realizem a matrícula na unidade mais próxima de sua residência ou local de trabalho, mas nem sempre essa orientação é respeitada, fazendo com que o serviço de transporte se ajuste às realidades direcionadas pelas unidades de ensino.

Em paralelo a toda a decisão de rotas organizadas pela secretaria de educação do município, por ser um serviço público, existem interferências políticas para ajustes de trajetos quando existem conveniências. Sabendo dessas possíveis alterações, toda otimização de rota é necessária para reduzir os prejuízos financeiros e de qualidade no serviço. O controle do serviço é realizado através de planilhas de horários e trajetos cumpridos. Esses relatórios são confeccionados pelos motoristas que atuam nos veículos de frota própria do município e também pelos responsáveis

técnicos das empresas que detêm contratos com a prefeitura para a realização das rotas. Porém não existe nenhum controle efetivo da rota realizada pelo veículo, bem como, se a rota que foi realizada era a mais adequada para o local, considerando a menor quilometragem possível.

3.4 PROBLEMA DO ROTEAMENTO DE TRANSPORTE ESCOLAR

Conforme apresentado por Park e Kim (2010), o problema de roteamento do transporte escolar (SBRP) busca planejar um cronograma eficiente para uma frota de ônibus escolares onde cada ônibus pega os alunos de várias paradas de ônibus e depois os entrega para a escola. Ele consiste em gerar rotas para que ônibus escolares transportem estudantes de suas respectivas casas até as escolas e vice-versa, levando em conta as condições das estradas, os tipos e tamanhos dos veículos, a localização das garagens e os custos do transporte (MIRANDA et al., 2018).

Conforme descrito por (DESROSIERS *et al.*, 1981), para solucionar um problema de roteamento de transporte escolar, é sugerido a divisão em cinco etapas: preparação dos dados, seleção de pontos de parada, geração das rotas, ajuste das janelas de tempo e escalonamento das rotas. Uma alternativa, que já é utilizada no município, é o transporte escolar misto, no qual estudantes de diferentes escolas podem utilizar o mesmo veículo. Segundo Braca *et al.* (1997), o carregamento misto aumenta a flexibilidade das soluções, além de reduzir os custos com a redução do tamanho da frota útil.

Ellegood et al.(2015) em seus estudos sugerem que a estratégia de carga mistas é preferida quando as escolas estão próximas umas das outras. O que acontece na cidade analisada, que na sua maioria, os colégios estaduais ficam muito próximos as escolas municipais. Ibeas *et al.* (2009) propuseram a possibilidade de alterar os horários de entrada e saída das escolas, em que os itinerários de cada escola neste caso, permitirá que um único veículo atendesse várias escolas.

Conforme Leachman *et al.*(2016) um dos fatores para o aumento de estudos sobre SBRP é a recente diminuição de financiamentos educacionais nos EUA, gerando impactos nos serviços de transporte escolar público, levando a investigação de formas inovadoras para o transporte de estudantes, projetando a possibilidade de ainda mais severas restrições. Mas, no Brasil, é tradicional a manutenção dos horários escolares, independente se esse fator pode gerar custos maiores em sua logística.

3.5 PESQUISA OPERACIONAL APLICADA AO TRANSPORTE ESCOLAR

Para Barbosa (2014) os problemas de transporte são temas interessantes para a Pesquisa Operacional em virtude de apresentarem diversas variáveis de origem, podendo ser fábricas, depósitos, lojas, etc.; e diversas variáveis de destino (postos de distribuição, obras, etc.). Segundo o autor, são essas várias rotas que permitem formular problemas de transporte que podem ser resolvidos com problemas de programação linear (PL).

Cada veículo é responsável por percorrer um itinerário. Nas soluções fornecidas para o problema, é necessário respeitar as restrições, tais como a capacidade dos veículos, o tempo máximo que os estudantes podem viajar no veículo, e os períodos das escolas, entre outros. (NEWTON et al., 1969) e (ELLEGOOD et al., 2020).

As abordagens de soluções heurísticas para a seleção dos pontos de busca dos ônibus escolares são classificadas na estratégia de localização-alocação-roteamento (LAR) ou na estratégia de atribuição-roteamento-localização (ARL). (Park e Kim, 2010). Na LAR é determinado um conjunto de pontos de busca e os estudantes são alocados para esses pontos e diante disso são geradas as rotas. Na estratégia ARL a atribuição ocorre pela capacidade do veículo, em seguida os pontos de busca e por fim a realização das rotas. A possibilidade de implementar processos técnicos na execução do serviço pode contribuir no custo-benefício da ação.

Neste sentido, muitos esforços vêm sendo feitos por diversos pesquisadores na busca de técnicas heurísticas que possam oferecer boas soluções para o problema, com baixo custo computacional (BRACA et al., 1997). Segundo Laurindo (2014):

Todo o tipo de informação é importante para o negócio, privado ou público. O ciclo de informação logística desempenhado por funções logísticas disponibiliza dados que, analisados por sistemas ou ferramentas, transformam-se em informações que, por fim, agrupadas e analisadas pelo gestor, convertem-se em conhecimento para a tomada de decisão adequada. (LAURINDO, pág.63.2014).

4 PROPOSTA METODOLÓGICA

Foi utilizado a programação linear inteira mista para melhorar a roteirização do transporte escolar no município, auxiliando na gestão do serviço e na redução do custo financeiro. No artigo, “Modelo de otimização para o desenho de transportes escolares baseado em modelos econômicos e eficiência social”, dos autores Eguizabal *et al.*(2018), eles trazem a proposta de alteração de horários nas instituições de ensino como possibilidade de ajustes das rotas, para que os estudantes não fiquem muito tempo dentro dos veículos e o mesmo possa fazer entregas em mais de um local, com isso o custo empregado nos transportes teve uma economia nas diversas rotas entre 2,7% e 35,1%. O estudo traz também a programação para a otimização das rotas, mas deixa claro que no momento de incluir as restrições ao serviço, isso é uma decisão dos gestores locais que definirão algumas informações relevantes.

Artigo em análise	Este Trabalho
Possibilidade de ajuste no horário escolar.	Horário escolar definido.
Um veículo pode atender mais de uma unidade escolar.	Um veículo pode atender mais de uma unidade escolar
Tempo de permanência no veículo definido.	Tempo de permanência no veículo definido.
Transporte urbano	Transporte rural
Carga mista	Carga mista

Fonte: autoria própria.

Importante entender que nos colégios e escolas atendidas pelo transporte escolar em São José dos Pinhais nem todos os estudantes utilizam o serviço oferecido e, conseqüentemente, qualquer alteração com relação aos horários de funcionamento das instituições afetam diretamente a todas as pessoas envolvidas na unidade, sejam pais, alunos e/ou profissionais da educação. Por tanto, uma decisão quanto a essa alteração tem que ser muito bem estudada para não gerar um transtorno social maior que a economia financeira.

A possibilidade de um mesmo veículo atender mais de uma unidade escolar já existe pelo fato da proximidade das unidades municipais e estaduais e, também, pela autorização de carga mista nos veículos. O limite de tempo de permanência nos veículos já existe com a previsão de organização das rotas perante o início das aulas nas unidades. Poderá estimar dentro do estudo a possibilidade de criação de um grupo de veículos realizar a coleta dos estudantes e entrega na unidade de ensino e outro grupo a busca dos estudantes e entrega nas residências, visualizando neste

caso a intenção de organizar as rotas dentro do horário estabelecido em contrato e não gerando as horas extras que são pagas no contrato atual.

4.1 GESTÃO DAS OPERAÇÕES

Com a utilização da programação proposta neste trabalho, os processos têm por objetivos serem mais rápidos e exatos, auxiliando na gestão de operação do serviço. A reformulação das rotas poderá também gerar uma economia no gasto público financeiro à medida que os servidores efetivos da prefeitura possuem um contrato de 8 (oito) horas diárias de serviço, sendo que com o transporte dos estudantes eles utilizam em média 3 a 4 horas de serviço e o restante eles ficam à disposição da administração. Mas por considerar as 8 horas consecutivas, o início da contagem é no momento do primeiro embarque e o final da contagem no último desembarque, é comum que todos os servidores motoristas recebam hora extra diária pelo serviço prestado, gerando um custo ainda maior para a administração.

Já para as rotas realizadas por empresas contratadas, quanto mais eficaz for a projeção da rota a ser realizada, menor será o custo envolvido na operação. Para a construção do edital de licitação, o município indica quantas rotas e quais as metragens mínimas e máximas para o serviço que deseja. Caso o valor máximo de metragem estipulado para a rota tenha uma margem muito superior a rota real, o município terá prejuízos financeiros, tendo em vista que a empresa poderá realizar uma rota maior para realizar o serviço.

4.2 MODELOS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR

Neste trabalho foi desenvolvido um programa computacional que poderá ser utilizado para roteirização de transporte escolar do município de São José dos Pinhais com a finalidade de otimizar as rotas utilizadas e gerar economia financeira e social para a administração pública. Levou-se em consideração as seguintes restrições:

- tempo limite de 60 minutos de permanência do estudante dentro do veículo;
- horário de início das aulas já definido;
- capacidade dos veículos;

Em Schittekat *et al.* (2013), menciona que a função objetivo deve minimizar a distância total percorrida por todos os veículos e, ao fazê-lo, devem determinar (1) os pontos a serem atendidos; (2) que ponto cada estudante devem utilizar; e (3) as rotas que cobrem os pontos selecionados.

4.2.1 Problema da Mochila

A proposta foi constituída pela ideia de preencher uma mochila com diversos objetos com pesos e valores diferentes. Segundo Kellerer, Pferschy, & Pisinger (2004), a ideia do algoritmo é iniciar a escolha dos itens com a mochila vazia e, tão logo, ir acrescentando os itens na mesma que apresentam maior eficiência, até que se alcance o limite de capacidade da mochila.

Para Marques e Arenales (2002), O Problema da Mochila consiste em determinar as capacidades adequadas de cada compartimento e como estes devem ser carregados de modo que o valor de utilidade total seja máximo, descontando-se os custos dos compartimentos, os quais dependem dos agrupamentos com que foram preenchidos.

Índices/Conjuntos

V Conjunto de Veículos: $V = \{i; i = 1, \dots, |V|\}$.

Parâmetros

P_i Coeficiente que indica preterição de seleção do veículo i .

A Total de alunos na escola que necessitam de transporte escolar.

$CapV_i$ Capacidade de transporte de alunos do veículo i .

Modelo Matemático para o Problema PM

Definição das Variáveis de Decisão

x_i Quantidade de veículos do tipo i a serem selecionados.

Função Objetivo

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^{|V|} P_i x_i \quad (1)$$

Sujeito às seguintes restrições:

$$\sum_{i=1}^{|V|} CapV_i x_i \geq A \quad (2)$$

$$x_i \in \mathbb{N} \quad (3)$$

O modelo PM representa a escolha da quantidade de veículos que minimiza a preterição dos veículos. O peso de preterição está relacionado com o parâmetro P_i , do tipo menor é melhor, fazendo a seleção dos veículos mais adequados ao tomador de decisão. Por exemplo, se o objetivo é selecionar os veículos menores, então estes devem ter menores valores de P_i . Suponha que se tenha veículos ($i = 1$) de capacidade 10 e veículos ($i = 2$) de capacidade 20 disponível para seleção. Se $P_1 = 10$, $P_2 = 40$ e a necessidade seja transportar 20 alunos, então o modelo retornará como resposta a escolha de dois veículos do tipo $i = 1$. Caso se tenha $P_1 = 40$, $P_2 = 10$ e mesma necessidade de 20 alunos, então o modelo retornará 1 veículo do tipo $i = 2$. Esta situação está apresentada na Função Objetivo em (1). A restrição (2) indica que a soma das capacidades de todos os veículos selecionados deve ser maior ou igual a quantidade de alunos da escola a ser estudada, garantindo que todos os alunos tenham lugares nos veículos. Por fim, o domínio das variáveis é determinado em (3), garantindo a integralidade das variáveis.

4.2.2 Problema das p-Mediana Capacitadas

O problema das p-mediana capacitada neste trabalho é a definição do agrupamento de alunos de acordo com a resposta obtida no Problema da Mochila (PM) aplicada a respectiva escola. Isto significa que a quantidade de veículos definidos em PM é a quantidade de mediadas e, para cada grupo, tem-se uma capacidade diferente. Esta capacidade é definida de acordo com a capacidade de cada veículo obtido na solução do PM. Assim, o problema possui a característica de possuir p medianas, formando p grupos, cada um podendo ter uma capacidade diferente, isto é, capacidades heterogêneas dos agrupamentos a serem definidos.

Índices/Conjuntos

Alunos Conjunto de Alunos de uma escola: $Alunos = \{i,j; i,j = 1, \dots, A\}$.

P Conjunto de medianas: $P = \{p; p = 1, \dots, |P|\}$

Onde A é o mesmo parâmetro do problema PM e o índice j representa as localizações candidatas à medianas. Neste trabalho todas as localizações dos alunos são consideradas candidatas à mediana.

Parâmetros

Lat_i Latitude da localização geográfica do ponto de coleta do aluno i .

$Long_i$ Longitude da localização geográfica do ponto de coleta do aluno i .

$dist_{ij}$ Distância Euclidiana adaptada entre o aluno i e o aluno j .

Cap_p Capacidade do agrupamento p

A distância euclidiana adaptada é definida da seguinte forma:

$$dist_{ij} = 100 * arred\left(\sqrt{(Lat_i - Lat_j)^2 + (Long_i - Long_j)^2}; 2\right) \quad (4)$$

Onde a função $arred\left(\sqrt{(Lat_i - Lat_j)^2 + (Long_i - Long_j)^2}; 2\right)$ significa arredondamento com 2 casas decimais. Esta adaptação foi utilizada com o objetivo de minimizar o erro numérico no modelo PMC.

Modelo Matemático para o Problema PMC

Definição das Variáveis de Decisão

x_{ijp} = 1, se o aluno i for designado a mediana j associado ao grupo p e 0, caso contrário.

Função Objetivo

$$Min Z = \sum_{p=1}^{|P|} \sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^A dist_{ij} x_{ijp} \quad (5)$$

Sujeito às seguintes restrições:

$$\sum_{p=1}^{|P|} \sum_{j=1}^A x_{ijp} = 1, \quad \forall i \quad (6)$$

$$\sum_{p=1}^{|P|} \sum_{j=1}^A x_{jjp} = |P| \quad (7)$$

$$\sum_{p=1}^{|P|} x_{jjp} \leq 1, \quad \forall j \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^A x_{ijp} \leq Cap_p x_{jjp}, \quad \forall j, p \quad (9)$$

$$x_{ijp} \in \{0, 1\} \quad (10)$$

O modelo PMC representa a designação de cada ponto para um único agrupamento. O resultado do modelo PM define a quantidade de agrupamento $|P|$ e ainda define uma capacidade Cap_p para cada agrupamento. Desta forma, tem-se o modelo de p -medianas com a necessidade de escolher p medianas, as quais representam seus respectivos agrupamentos, sendo cada um deles com a capacidade (heterogênea) máxima pré-definida. Essa capacidade máxima está associada, como foi visto no modelo PM, com a capacidade dos ônibus que estavam à disposição no modelo PM. Vale ressaltar que o resultado do problema PM pode ser qualquer combinação de ônibus, podendo ser uma quantidade de agrupamentos com a mesma capacidade ou, ainda no outro extremo, vários agrupamentos tendo cada um uma capacidade diferente.

Em (5) define-se a função objetivo que visa minimizar a distância entre os pontos i e sua mediana j para o agrupamento p . Em (6) tem-se a restrição que garante que cada ponto i deve ser designado para um único agrupamento. Em (7) impõe que a quantidade $|P|$ de medianas, e consequentemente agrupamentos, sejam definidas. Em (8) que cada ponto j candidato à mediana, se selecionado para ser mediana, só possa representar um agrupamento da capacidade associada à p -ésima mediada. Reforça-se que neste modelo PMC proposto todos os pontos i são candidatos à mediana. Na restrição (9) define-se que a quantidade de pontos i designados a uma mediana j de um agrupamento p deve ser limitada a capacidade associada a p -ésima

mediana. Por fim, o domínio das variáveis é determinado em (10), garantindo a binariedade das variáveis.

O problema de p -medianas é o modelo matemático mais popular associado ao problema de localização de unidades de serviços, o qual tem como objetivo localizar p unidades de serviço, de modo a minimizar a soma ponderada das distâncias dos clientes, centrados em cada vértice, às instalações disponíveis (PIZZOLATO; RAUPP; ALZAMORA, 2012).

O problema de p -medianas identifica os locais para instalação dos p serviços em uma rede de modo que a medida de distância (ou tempo) total ponderada de demanda de serviços para a sua instalação mais próxima seja minimizada (MURRAY; GERARD, 1997).

De acordo com Pereira (2005), o problema das p -medianas é um problema de localização-alocação, ou seja, visa determinar a configuração de custo mínimo de instalação de facilidades e de atendimento da demanda de cada cliente em uma rede conectada por um número finito de caminhos.

4.2.3 Problema de Roteirização de Veículos

O PMC define $|P|$ agrupamentos com no máximo Cap_p alunos. Para cada agrupamento definido na solução do PMC, cria-se o modelo para roteirização do ônibus associado a esse agrupamento p . O modelo de Roteirização de Veículos utilizado foi adaptado do modelo proposto por Miller, Tucker e Zemlin (1960). Além dos alunos definidos pelo PMC, inclui-se no conjunto de locais a serem roteirizados (cada aluno é um local definido pela sua latitude e longitude), a escola de origem (também definida pela sua latitude e longitude), impondo que o ônibus escolar deva iniciar e terminar sua rota nela.

Índices/Conjuntos

Conjunto contendo a escola e os alunos de um agrupamento que necessitam de uma única Rota associada a um veículo de capacidade Cap_p : $R = \{i,j; i,j = 0, \dots, A_r\}$.

Onde A_r é a quantidade de alunos do agrupamento (menor ou igual a Cap_p) e o índice r representa qual rota está sendo definida dentre as $|P|$ rotas necessárias para

a escola em questão. Para fins de modelagem considera-se a escola como o ponto 0 do conjunto R .

Parâmetros

- Lat_i Latitude da localização geográfica do ponto do conjunto R .
 $Long_i$ Longitude da localização geográfica do ponto do conjunto R .
 $dist_{ij}$ Distância Euclidiana adaptada entre o local i e o local j .

As distâncias entre os locais são calculadas da mesma forma que no problema PMC.

Modelo Matemático para o Problema PRV

Definição das Variáveis de Decisão

- x_{ij} = 1, se o local i é visitado imediatamente antes do local j na rota a ser definida e 0, caso contrário e $i \neq j$. (isto é, $x_{ij} = 0$ para $i = j$)
 c_i controle da distância em que o local i estará na rota.

Função Objetivo

$$Min Z = \sum_{i=0}^{A_r} \sum_{j=0}^{A_r} dist_{ij} x_{ij} \quad (11)$$

Sujeito às seguintes restrições:

$$\sum_{i=0}^{A_r} x_{ij} = 1, \quad \forall j, j \neq 0 \quad (12)$$

$$\sum_{j=0}^{A_r} x_{ij} = 1, \quad \forall i, i \neq 0 \quad (13)$$

$$c_0 = 0 \quad (14)$$

$$c_j - c_i - (dist_{ij} + M)x_{ij} + M \geq 0, \quad \forall i, j, i \neq j, j \neq 0 \quad (15)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad (16)$$

O modelo PRV deste trabalho é o modelo clássico de Roteirização de Veículos com as restrições de Miller, Tucker e Zemlin (1960). Em (11) tem-se a função objetivo que representa a menor distância da rota a ser definida. Na restrição (12) tem-se que para cada local, o veículo só poderá chegar nele vindo de um único local de origem. Já na restrição (13), tem-se que para cada local, o veículo só poderá ir para um único local de destino. As variáveis c_i são utilizadas para controle na ordenação dos pontos a serem visitados pelo veículo. Assim, impõe-se que o início da rota seja no momento 0 na restrição (14). Em (15) tem-se as clássicas restrições de sub-rotas propostas pelos autores citados. Onde utiliza-se um número suficientemente grande M (neste trabalho utilizou-se a soma de toda a tabela de distâncias para o valor de M) visando garantir a unicidade da rota a ser obtida. Por fim, em (16) tem-se o domínio das variáveis, neste caso as variáveis são binárias. Vale ressaltar que os índices i e j vão do valor 0 até A_r . Assim, nas restrições (12) e (13) tem-se, como consequência imediata, que o local 0 (a escola em questão) será o início e o fim, uma vez que do local 0 só sairá o veículo para um outro local, assim como o veículo retornará para o local 0, vindo de um único local. Também é válido destacar que as variáveis x_{ij} não existem quando $i = j$, isto é equivalente a impor que as variáveis nestas condições são iguais a zero a priori. Em geral, os softwares de otimização, como o Gurobi, possuem ferramentas de “pré-solver” que faz esse tipo de tratamento, retirando do modelo as variáveis que tem na entrada de dados a imposição que elas deverão ter o valor zero. O “Pré-solver” são módulos computacionais que possuem testes matemáticos e tratamentos de variáveis que auxiliam a aumentar a velocidade de convergência que da Metodologia SIMPLEX para o problema em questão.

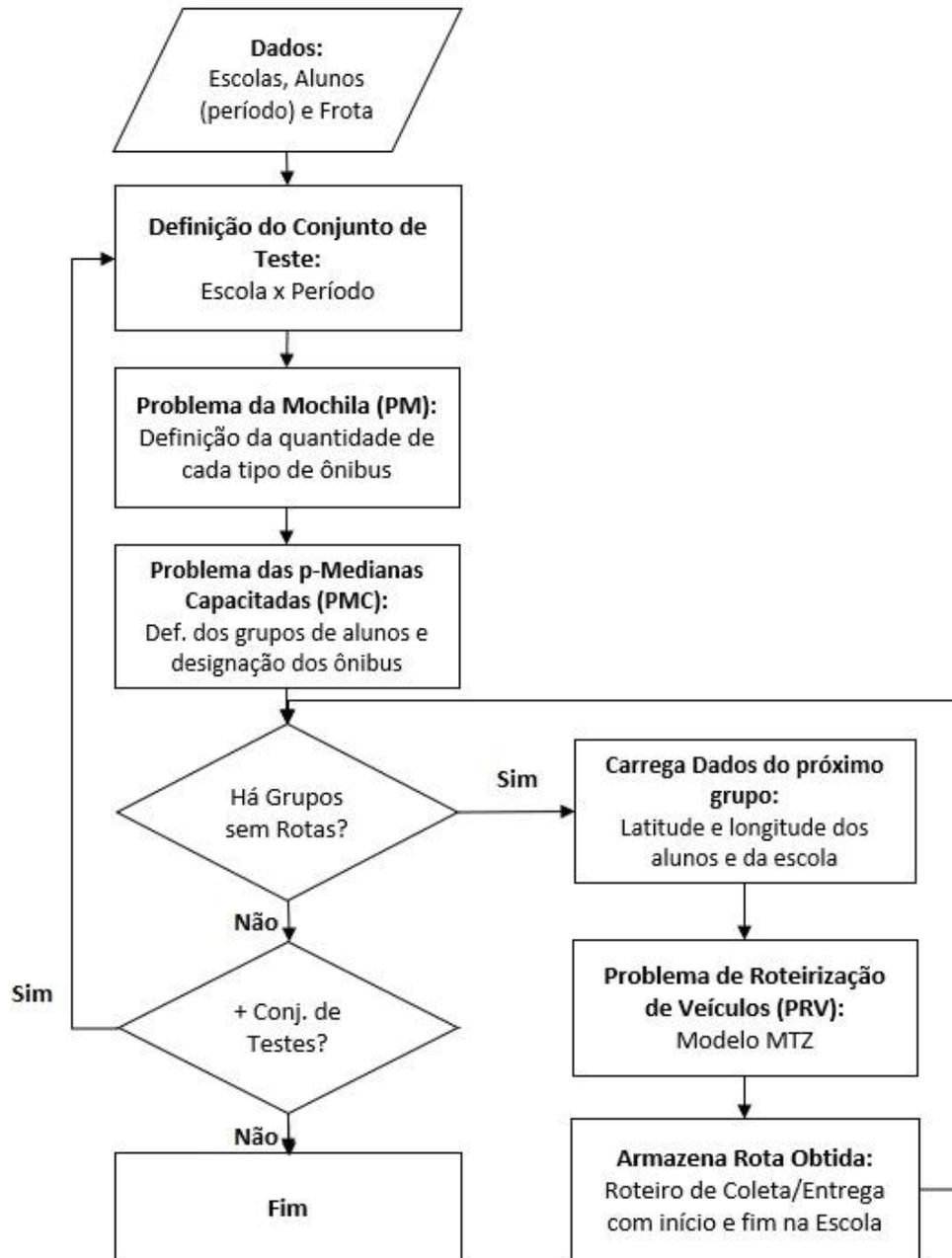
Segundo Laporte et al.(2000) o problema de roteirização de veículos consiste em definir roteiros de veículos que minimizem os custo total de atendimento, cada um dos quais iniciando e terminando no depósito ou base de veículos, assegurando que cada ponto seja visitado exatamente uma vez e a demanda em qualquer rota não exceda a capacidade do veículo que a atende.

4.3 ABORDAGEM MATEMÁTICA COMPLETA

Após a coleta dos dados necessários, na definição do conjunto para teste, foi possível dividir todos os estudantes por escola e por período. Por exemplo no colégio

estadual Tiradentes, que no período da manhã possuía 106 estudantes necessitando do serviço de transporte escolar. Na fase 1 definiu-se 4 grupos de estudantes, sendo necessário 2 veículos com capacidade de 31 lugares e 2 veículos com capacidade de 26 lugares. Na fase 2 foi definido quais estudantes seriam buscados por cada veículo. Na fase 3 foi possível identificar a rota que cada veículo teria que realizar e conseqüentemente a seqüência dos estudantes que deveriam buscar. E na fase 4 foi feita a ilustração dessas rotas para identificar as diferenças de rotas que estavam sendo realizadas e as rotas propostas pelo estudo.

A abordagem apresentada foi construída baseada em 4 fases sequenciais, além da estruturação dos dados de entrada. São elas: 1) a obtenção da solução da quantidade e tipo (capacidade de transporte) de ônibus para uma escola em um período a partir do clássico problema da mochila, 2) definindo-se os ônibus e suas respectivas capacidades, definiu-se os agrupamentos de alunos a serem coletados ou entregues a partir do problema de p -medianas capacitadas, 3) para cada agrupamento de alunos, aplicou-se o modelo de roteirização de veículos de Miller, Tucker e Zemlin (1960), obtendo-se a seqüência de coleta (ou entrega) dos alunos e 4) apresentação gráfica das rotas obtidas para fins de controle e comparação das rotas executadas. A Pesquisa Operacional pode contribuir na gestão pública oferecendo dados para auxiliar na tomada de decisão dos gestores.



4.4 METODOLOGIA DE ANÁLISE SISTEMA

Identificando a quantidade e a capacidade de cada veículo, realizado na fase 1, é possível minimizar as sobras de lugares dentro dos veículos e principalmente otimizar as rotas colocando veículos com porte menores, que realizam o trajeto de uma forma mais rápida, diminuindo o tempo que os estudantes ficam em

deslocamento, podendo otimizar esse ganho de tempo em atividades sociais, tempo de lazer ou descanso.

Na fase 2 os agrupamentos geram um grupo de alunos que estão na mesma região, fazendo com que a busca seja, na maioria das vezes, locais. Dentro de bairros específicos, facilitando para que a rota seja minimizada.

No 3 tem-se as rotas propriamente ditas, começando no primeiro estudante a ser buscado e terminando nas escolas, as distâncias percorridas são minimizadas, mas além disso tem a possibilidade de controlar a rota, o horário que deveria buscar cada aluno e a redução do tempo de espera do veículos.

No 4, pode-se controlar os veículos por meio dos mapas e saber exatamente a localização e em caso de qualquer tipo de problemas, a busca por uma solução como guincho ou mecânico seria mais ágil, minimizando a perda de aulas ou atrasos dos alunos. Toda possibilidade de controle gera uma sensação de segurança e demonstra uma qualidade no serviço, minimizando as queixas e falta de informações reais.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A expectativa com relação ao estudo é obter economia financeira com a redução de quilometragem rodada tanto pelos veículos de frota própria quanto nas linhas atendidas pelas empresas terceirizadas. Além disso, melhorar o tempo do serviço de coleta e entrega, diminuindo a permanência dos estudantes dentro dos veículos.

Com a aplicação da programação proposta na abordagem descrita anteriormente espera-se que se tenha mudança das rotas em pelo menos 50% das linhas atendidas atualmente. Quanto a gestão do transporte escolar, com a aplicação da abordagem proposta será possível a redução de coordenadores na atribuição das rotas e potencializar os servidores em outras tarefas da secretaria.

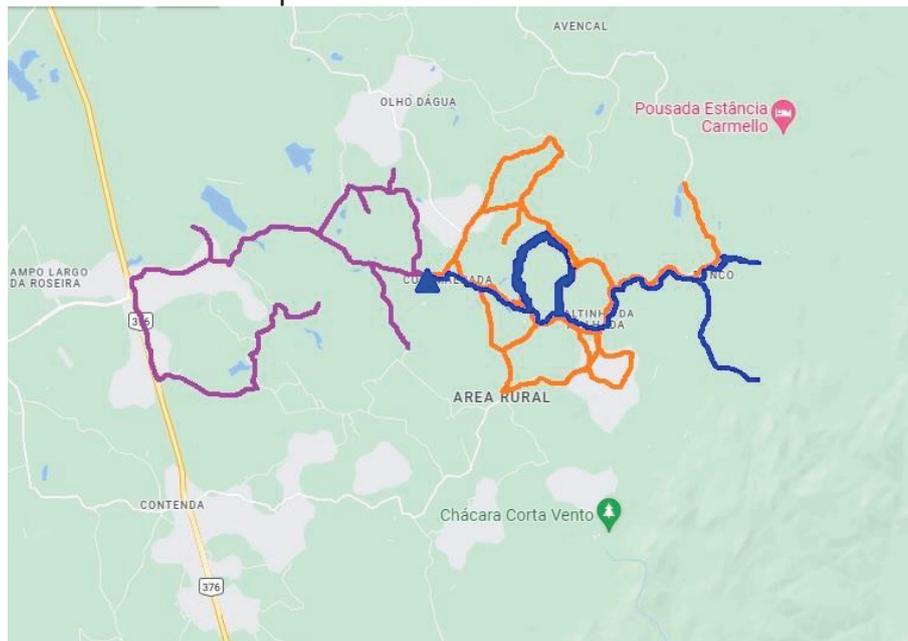
Após a efetiva alteração das rotas, o acompanhamento do cumprimento do trajeto estabelecido será através da quilometragem rodada no final do dia e na sequência um investimento no acompanhamento via rastreador. O resultado do estudo auxiliará a administração na decisão do formato nos contratos das rotas atendidas pelas empresas terceirizadas, bem como, se é economicamente viável a manutenção das linhas atendidas pelas frotas próprias.

5.1 RESULTADOS QUANTITATIVOS

5.1.1 Escola Alfredo José Eichel

A escola Alfredo José Eichel fica localizada na área rural de São José dos Pinhais, mais exatamente na região da colônia Malhada. Região onde os moradores, na sua maioria, são produtores rurais.

Roteiro realizado – período da manhã



Fonte: Google maps

No mapa acima é possível visualizar as rotas realizadas, são 3 rotas desenhadas pelas cores roxo, laranja e azul. O triângulo azul representa a escola José Alfredo Eichel.

Roteiro sugerido – período da manhã



Fonte: Google maps

No mapa é identificado com as rotas sugeridas, são 4 rotas desenhadas pelas cores verde, amarelo, azul e rosa. O triângulo azul representa a escola José Alfredo

Eichel. Comparando os dois mapas acima é possível verificar que os veículos trafegam praticamente pelas mesmas vias, alterando o tamanho do percurso.

Os mapas acima demonstram as rotas da escola Alfredo Eichel no período da manhã. São 104 estudantes cadastrados para esse serviço. Na visualização dos mapas percebeu-se que a rota utilizada pelo município é realizada por 3 veículos, 2 deles de empresas terceirizadas e 1 de frota própria. A capacidade dos veículos são: 2 de 45 lugares e 1 com 31 lugares. Nas rotas sugeridas, realizadas pela abordagem proposta, são 4 veículos de 26 lugares necessários para o serviço. As rotas sugeridas são de distâncias menores que a atual e conseqüentemente o período de permanência dos estudantes no interior do veículo e tempo destinado para o deslocamento de sua residência até a escola é menor.

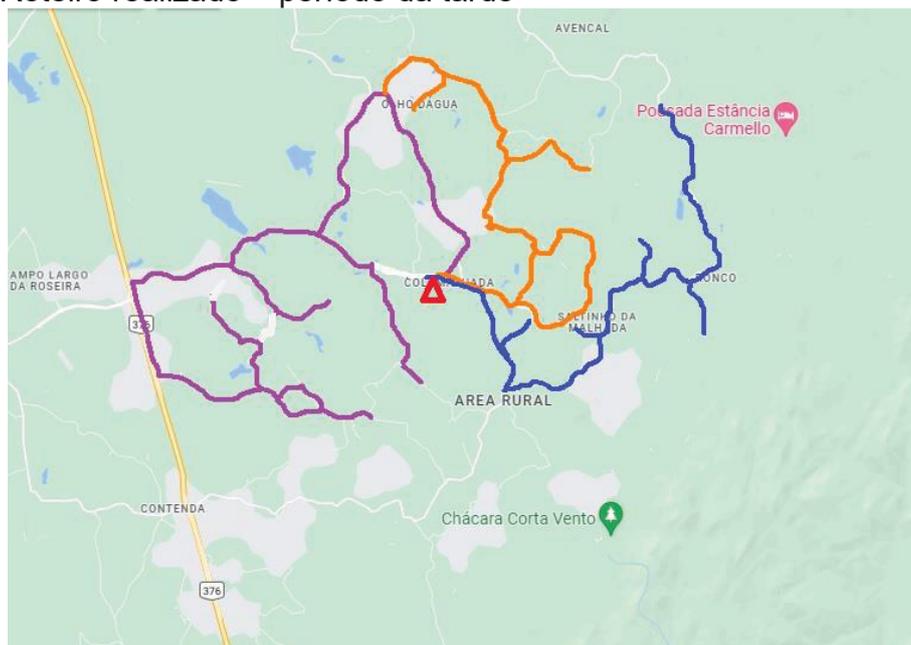
Percebe-se que em alguns momentos, tanto na rota utilizada quanto a sugerida, os trechos se encontram, pelo fato de ser a única via possível de passagem. Mas na rota sugerida esses encontros nos trechos são menores. Analisando as rotas separadas, identificou as seguintes diferenças:

ROTA REALIZADA			ROTA SUGERIDA		
veículo	km	minutos	veículo	km	minutos
1	21,2	47	1	12,1	25
2	25,5	57	2	14,2	25
3	34,1	55	3	16,8	36
			4	21	48
TOTAL	80,8	159	TOTAL	64,1	134

Com a aplicação da abordagem proposta foi possível reduzir a quantidade total de quilômetros rodados em 20,6% e, também, o tempo total de deslocamento em 15,7%. As rotas realizadas atualmente possuem uma média de 26,9 km por veículo, em 3 veículos grandes, com tempo médio de 53 minutos por rota. As rotas sugeridas possuem uma média 16,0 km por veículo, em 4 veículos menores, com tempo médio de 33,5 minutos por rota. O tempo estimado foi calculado pelo Google Maps® na modalidade de carros.

As rotas individuais estão no apêndice deste trabalho.

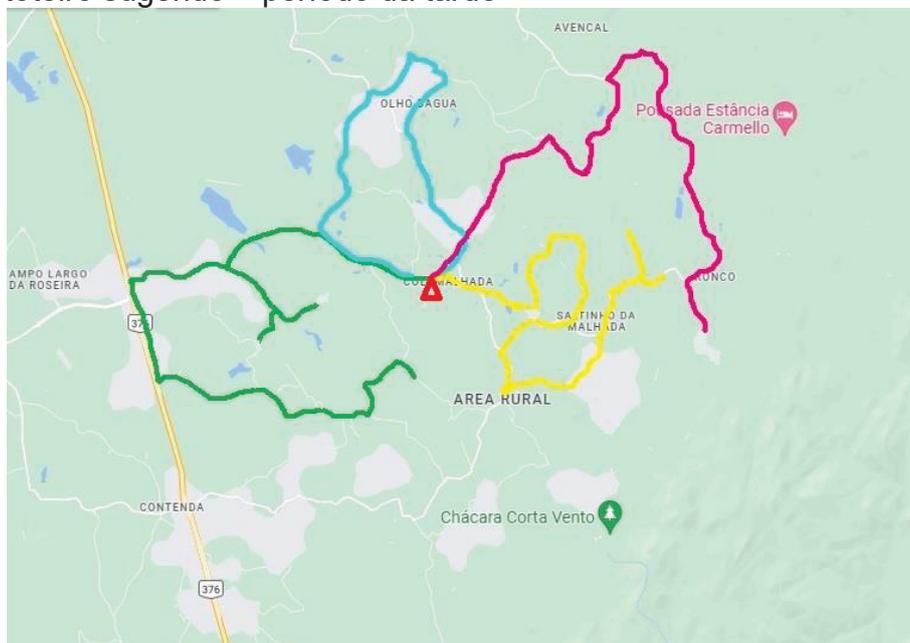
Roteiro realizado – período da tarde



Fonte: Google maps

O mapa acima representa as rotas realizadas no transporte escolar da escola José Alfredo Eichel, representado pelo triângulo vermelho. São 3 roteiros desenhados pelas cores roxo, laranja e azul.

Roteiro sugerido – período da tarde



Fonte: Google maps

No mapa é possível visualizar as 4 rotas sugeridas, representadas pelas cores verde, azul, rosa e amarelo. Percebe-se que nesse caso algumas rotas têm trajetos diferentes do realizado para atender a escola, representada pelo triângulo vermelho.

Os mapas demonstram as rotas da escola Alfredo Eichel no período da tarde. São 116 estudantes cadastrados para esse serviço. Na visualização dos mapas percebeu-se que as rotas utilizadas pelo município são realizadas por 3 veículos, 2 deles de empresas terceirizadas e 1 de frota própria. A capacidade dos veículos são: 2 de 45 lugares e 1 com 31 lugares. Nas rotas sugeridas, realizadas pela abordagem proposta, são 3 veículos de 31 lugares e 1 veículo de 26 lugares necessários para o serviço. As rotas sugeridas são de distâncias menores que a atual e, conseqüentemente, o período de permanência dos estudantes no interior do veículo e tempo destinado para o deslocamento de sua residência até a escola é menor.

Toda a região é considerada rural, o que diminui a possibilidade de rotas alternativas. Visualiza-se que as ruas trafegadas são praticamente as mesmas, mudando a seqüência de busca. Analisando as rotas separadas, identificou as seguintes diferenças:

ROTA REALIZADA			ROTA SUGERIDA		
veículo	km	minutos	veículo	km	minutos
1	31,6	57	1	19,6	34
2	19,6	44	2	11	22
3	17,3	40	3	13,4	27
			4	13,6	33
TOTAL	68,5	141	TOTAL	57,6	116

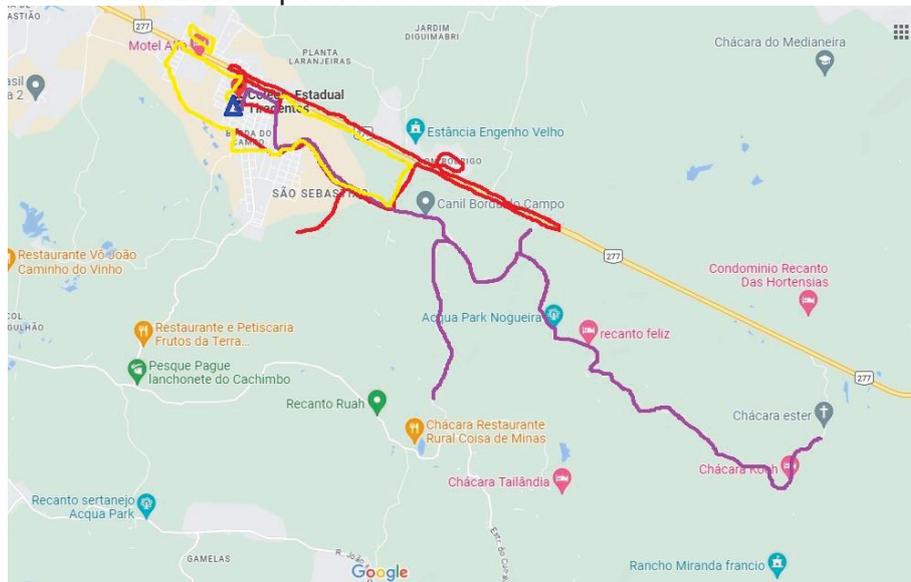
Com a aplicação da abordagem proposta foi possível reduzir a quantidade total de quilômetros rodados em 15,9% e, também, o tempo total de deslocamento em 17,7%. As rotas realizadas atualmente possuem uma média de 22,8 km por veículo, em 3 veículos grandes, com tempo médio de 47 minutos por rota. As rotas sugeridas possuem uma média 14,4 km por veículo, em 4 veículos menores, com tempo médio de 29 minutos por rota. O tempo estimado foi calculado pelo Google Maps® na modalidade de carros.

As rotas individuais estão no apêndice deste trabalho.

5.1.2 Colégio Tiradentes

O colégio Tiradentes fica localizado na região urbana do município, mais especificamente no bairro Borda do campo, região com perfil industrial, onde fica localizada a fábrica de veículos da Renault.

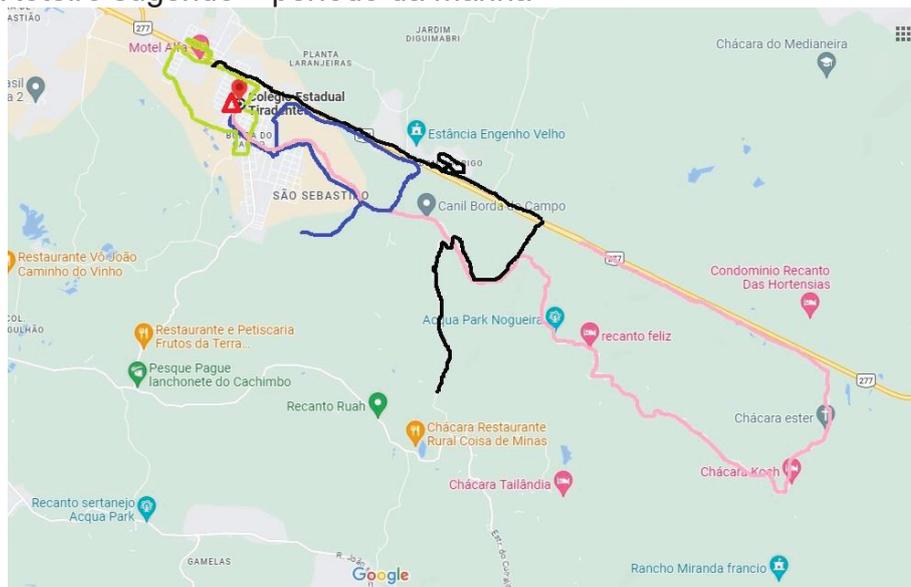
Roteiro realizado – período da manhã



Fonte: Google maps

No mapa acima verifica-se os 3 roteiros realizados, nas cores vermelho, roxo e amarelo. O colégio Tiradentes está representado pelo triângulo azul.

Roteiro sugerido – período da manhã



Fonte: Google maps

O mapa representa as 4 rotas sugeridas para o colégio Tiradentes, representado pelo triângulo vermelho. As 4 rotas desenhadas em rosa, preto, azul e verde utilizam praticamente as mesmas vias, somente utilizando percursos menores que a rota realizada.

Os mapas demonstram as rotas do colégio Tiradentes no período da manhã. São 106 estudantes cadastrados para esse serviço.

Na visualização dos mapas percebeu que a rota utilizada pelo município é realizada por 3 veículos, 2 deles de empresas terceirizadas e 1 de frota própria. A capacidade dos veículos são: 2 de 45 lugares e 1 com 26 lugares.

Nas rotas sugeridas, realizadas pelo sistema, são 2 veículos de 31 lugares e 2 veículos de 26 lugares necessários para o serviço. As rotas sugeridas são de distâncias menores que a atual e conseqüentemente o período de permanência dos estudantes no interior do veículo e tempo destinado para o deslocamento de sua residência até a escola é menor.

Na região é identificado uma parte da área rural e outra urbana, tem também uma rodovia que passa próximo aos locais de busca.

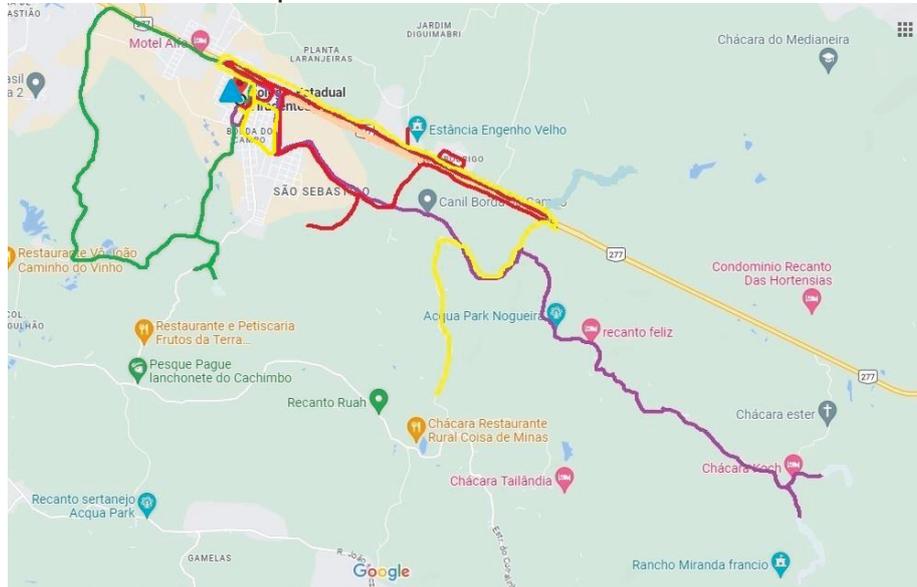
Analisando as rotas separadas, identificou as seguintes diferenças:

ROTA REALIZADA			ROTA SUGERIDA		
veículo	km	minutos	veículo	km	minutos
1	22,9	51	1	19,1	39
2	18,7	36	2	14,7	27
3	12,2	25	3	11,1	22
			4	6,6	19
TOTAL	53,8	112	TOTAL	51,5	107

Com a aplicação da abordagem proposta foi possível reduzir a quantidade total de quilômetros rodados em 4,2% e, também, o tempo total de deslocamento em 4,5%. As rotas realizadas atualmente possuem uma média de 17,9 km por veículo, em 2 veículos grandes e 1 menor, com tempo médio de 37,3 minutos por rota. As rotas sugeridas possuem uma média 12,8 km por veículo, em 4 veículos menores, com tempo médio de 26,7 minutos por rota. O tempo estimado foi calculado pelo Google Maps® na modalidade de carros.

As rotas individuais estão no apêndice deste trabalho.

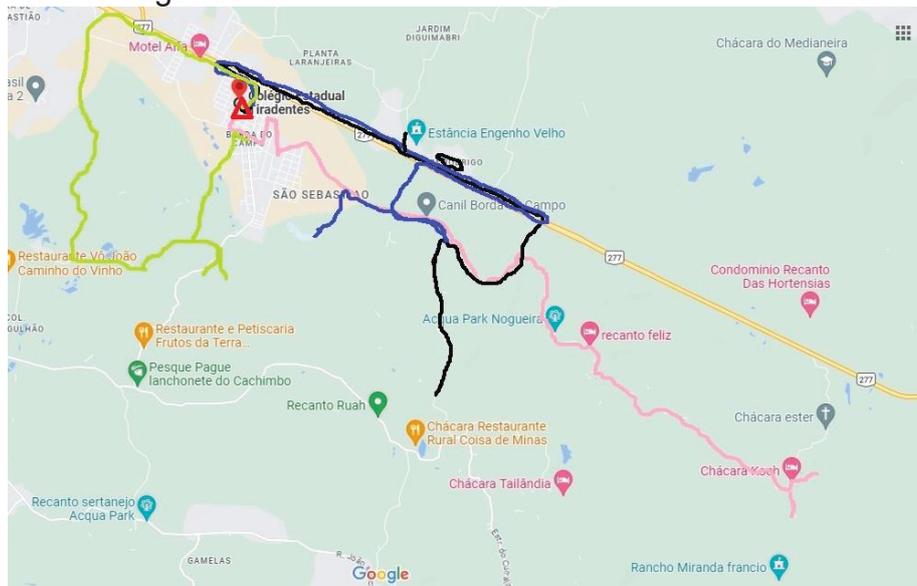
Roteiro realizado – período da tarde



Fonte: Google maps

No mapa acima é possível verificar as 4 rotas realizadas, representadas pelas cores verde, vermelho, amarelo e roxo. O colégio Tiradentes está representado pelo triângulo azul.

Roteiro sugerido



Fonte: Google maps

O mapa apresenta as rotas sugeridas para atender o colégio Tiradentes, são as 4 desenhadas em cores rosa, preto, azul e verde. O colégio está representado pelo triângulo vermelho.

Os mapas demonstram as rotas do colégio Tiradentes no período da tarde. São 92 estudantes cadastrados para esse serviço.

Na visualização dos mapas percebeu que a rota utilizada pelo município é realizada por 4 veículos, 3 deles de empresas terceirizadas e 1 de frota própria. A capacidade dos veículos são: 3 de 26 lugares e 1 com 44 lugares.

Nas rotas sugeridas, realizadas pelo sistema, são 4 veículos de 26 lugares necessários para o serviço. Tem dois roteiros praticamente iguais, identificando que as rotas utilizadas já se aproximam da mais otimizada.

Considerando a intenção dos estudantes ficarem o menor tempo possível em deslocamento, as rotas atuais podem ser consideradas como efetivas.

Na região é identificado uma parte da área rural e outra urbana, tem também uma rodovia que passa próximo aos locais de busca.

Analisando as rotas separadas, identificou as seguintes diferenças:

ROTA REALIZADA			ROTA SUGERIDA		
veículo	km	minutos	veículo	km	minutos
1	16	34	1	16,4	36
2	14,2	26	2	15,8	30
3	17,7	35	3	12,9	21
4	14,3	26	4	14,3	26
TOTAL	62,2	121	TOTAL	59,4	113

Com a aplicação da abordagem proposta foi possível reduzir a quantidade total de quilômetros rodados em 4,5% e, também, o tempo total de deslocamento em 6,6%. As rotas realizadas atualmente possuem uma média de 15,5 km por veículo, em 3 veículos menores e 1 veículo grande, com tempo médio de 30,2 minutos por rota. As rotas sugeridas possuem uma média 14,8 km por veículo, em 4 veículos menores, com tempo médio de 28,2 minutos por rota. O tempo estimado foi calculado pelo Google Maps® na modalidade de carros.

As rotas individuais estão no apêndice deste trabalho.

Com as informações das rotas analisadas foi possível verificar os seguintes resultados:

ROTA REALIZADA			ROTA SUGERIDA		
veículo	km	minutos	veículo	km	minutos
1	21,2	47	1	12,1	25
2	25,5	57	2	14,2	25
3	34,1	55	3	16,8	36
4	31,6	57	4	21	48
5	19,6	44	5	19,6	34
6	17,3	40	6	11	22
7	22,9	51	7	13,4	27
8	18,7	36	8	13,6	33
9	12,2	25	9	19,1	39
10	16	34	10	14,7	27
11	14,2	26	11	11,1	22
12	17,7	35	12	6,6	19
13	14,3	26	13	16,4	36
			14	15,8	30
			15	12,9	21
			16	14,3	26
13	251	507	16	232,6	470

Com a aplicação da abordagem proposta foi possível reduzir a quantidade de quilômetros rodados em 7,3% e, também, o tempo total de deslocamento em 7,3%. As rotas atuais possuem uma média de 19,3 km rodados e um tempo médio de 39 minutos. Com a abordagem foi possível reduzir a média de quilometragem rodada para 14,5 km e o tempo médio para 29,3 minutos. No total houve o acréscimo de 3 veículos de porte pequeno entre a rota realizada para a rota sugerida.

5.2 RESULTADOS QUALITATIVOS SISTÊMICOS

5.2.1 Controle de Frota

Com a aplicação da abordagem proposta será possível controlar os roteiros que os veículos realizarão, bem como, estipular mais precisamente o valor que poderá ser empregado no serviço, limitando a margem de alterações nas mínimas possíveis. O controle da frota também gera uma sensação de segurança para os usuários do serviço, pois saberão por onde os veículos deverão passar.

5.2.2 Qualidade de Vida para Alunos

Com a otimização dos roteiros, sabemos que o tempo de transporte dos alunos e estudantes será o menor possível, fazendo com que os usuários não fiquem tempo demais dentro dos veículos e também será reduzido o período de deslocamento total, priorizando sempre o tempo de estudo na unidade e o tempo de convívio em sua residência.

5.2.3 Vantagens na Licitação

Após a verificação que o software gera a melhor rota possível para determinada linha, é possível também melhorar o processo de contratação através de licitação. Como é um serviço que o poder público necessita, é colocado por ele qual a quantidade de estudantes e a metragem máxima que cada linha deverá atender. Quando sabemos qual é esse valor, é muito mais assertivo realizar esse processo.

5.2.4 Controle do Serviço Público de Transporte Escolar

A cada dia o controle sobre o gasto público é maior, com a tentativa de melhoria na aplicação do recurso destinado. Para tanto, quanto mais objetivo e técnico foi o trabalho realizado para este serviço, melhor será o parecer dos órgãos fiscalizadores. A aplicação da programação na otimização dos roteiros deixará visível que a tentativa do órgão público é aplicar o recurso de maneira mais consciente.

Com a proposta de implementação de um sistema para gerar e controlar as rotas, foram identificados alguns impactos sobre o serviço que vinha sendo realizado. Uma expectativa dos gestores do serviço é a possibilidade do sistema auxiliar na tomada de decisões, tanto para o repasse aos motoristas e usuários, como para a realização das licitações das linhas para o serviço de empresas especializadas. A gestão receberá um controle maior, minimizando os exageros na metragem rodada e principalmente na quantidade de horas trabalhadas. Para os usuários, a expectativa de melhoria do serviço na possibilidade de otimizar as rotas, reduzindo o tempo de espera e de deslocamento.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O trabalho foi realizado com a intenção de auxiliar na tomada de decisão dos gestores quanto ao serviço de transporte escolar. A baixa preocupação, dos servidores que atuam na geração das rotas, quanto ao recurso utilizado para esse serviço pode ser um dos motivos para a baixa procura de soluções mais efetivas. O poder público tem o direcionamento para a resolução dos problemas, na maioria deles de conflitos sociais, precisando satisfazer as necessidades, nas medidas que são solicitadas.

As alterações e inserções de novos métodos e a geração de resultados mais efetivos ainda estão dependentes de gestores que possuem essa filosofia de trabalho e buscam enfrentar as burocracias geradas pelos serviços públicos. Foi identificado, após a aplicação da abordagem proposta, a redução em praticamente todas as rotas nos quesitos quilometragem e tempo, mostrando que a aplicação de um sistema operacional no serviço de transporte escolar público resulta potencialmente na economia de recursos financeiros e, também, na otimização do tempo de deslocamento dos estudantes.

Importante considerar que a abordagem proposta, o qual gerou um registro de software junto ao INPI, gera uma rota em linha reta entre os pontos inseridos, não considerando as vias e as questões geográficas da realidade, ao qual é necessário ajustes manuais para traduzir os dados em um diagnóstico. Ficando esse avanço para futuros estudos.

É possível perceber pequenos avanços quanto a essas possíveis alterações, na medida que a sociedade se torna mais participativa das decisões públicas, bem como os serviços públicos estão sendo mais utilizados e os recursos financeiros ficando escassos. A otimização e a proximidade com estudos práticos se tornam alternativas para gestões públicas mais qualificadas.

Para a execução do serviço, identificou-se que é mais vantajoso para critérios de otimização de tempo e quilometragem o direcionamento para veículos menores, que na prática são mais ágeis, diminuindo o tempo de permanência dos estudantes no deslocamento. Com a aplicação do software, aumentou a quantidade de veículos para todo o serviço de transporte escolar, mas reduzindo a quilometragem e o tempo rodado, ficando a gestão da organização a definição de como atuar na prestação deste serviço.

O transporte escolar é um serviço de necessidade imediata, pois faz parte do processo de direito de acesso à educação, demonstrando que o estudo é atual e o seu resultado comprova a necessidade de aprimoramento. O aumento da população em áreas rurais, o aumento da procura pelo serviço de educação pública, a ampliação de aulas no ensino médio estadual e as possíveis alterações de leis que regem o transporte escolar são assuntos que podem gerar novos estudos nessa área.

Considerando que o presente estudo verificou a busca e entrega dos estudantes no período da manhã e da tarde, um trabalho futuro poderia ser a análise da busca e entrega do intervalo no horário do almoço, no qual algumas rotas precisam entregar estudantes do período da manhã e já embarca estudantes do período da tarde. A maneira como trabalhar essa problemática é uma sugestão de trabalho futuro.

REFERÊNCIAS

Abrucio, F. L (2007). Trajetória recente da gestão pública brasileira: um balanço crítico e a renovação da agenda de reformas. *Revista de Administração Pública*, Edição Especial Comemorativa, p. 67-86.

Alam, M.J. Habib, M.A. (2021). A dynamic programming optimization for traffic microsimulation modelling of a mass evacuation. *Transp. Res. Part D: Transport Environ.* 97,102946.

Baldrige, J. Victor (1971). *Power and Conflict in the University*. New York: Wiley.

Barbosa, Marcos Antônio (2014). *Iniciação à Pesquisa Operacional no ambiente de gestão*. 2. Ed, rev. Curitiba: InterSaberes, 2014.

Barcelos, B., Evangelista, M. L., & Segatto, S (2015). A importância e a aplicação da pesquisa operacional nos Cursos de graduação em Administração. *RACE - Revista De Administração, Contabilidade E Economia*, 11(2), 381-405.

Belfiore, Patrícia; Fávero, Luiz Paulo (2013). *Pesquisa Operacional para cursos de Engenharia*. Rio de Janeiro: Elsevier.

Braca, J.; J. Bramel; B. Posner e D. Simchi-Levi (1997). A computerized approach to the New York City school bus routing problem. *IIE Transactions*, v.29, n.8, p. 693-702. DOI:10.1023/A:1018526202990.

BRASIL: Constituição da República Federativa do Brasil.: Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional – Lei N. 9.394/96.

Brugué, Q.; Subirats, J. Introducción. In: Brugué, Q.; Subirats, J. (Orgs.) (1996). *Lecturas de gestión pública*. Madrid: Instituto de Administración Pública, p. 403-418.

Bodin, L.; B. Golden; A. Assad e M. Ball (1983). The state of the art in the routing and scheduling of vehicles and crews. *Computers & Operations Research*, v. 10, n. 2, p. 63–211. DOI:10.1016/0305-0548(83)90030-8.

Desrosier, J., Ferland, J., Rousseau, J.M., Lapalme, G. e Chapleau, L. (1981). An overview of a school busing system. *In: Scientific management of transportation systems*. Jaiswal, N.K. (ed.). Amsterdam: North-Holland, p.235-243.

Drucker, P. (1993). *La sociedad poscapitalista*. Madrid: Apóstrofe.

Dunleavy, P.e H. Margetts. (2010). *A segunda onda de governança da era digital*. Washington, DC: Oxford University Press.

Dunleavy, P., H. Margetts, S. Bastow, e J. Tinkler. (2006). Nova gestão pública está morta — Viva a Governança da Era Digital. *Revista de Pesquisa e Teoria da Administração Pública* 16(3):467–494. doi:10.1093/jopart/mui057.

Dunleavy, P., H. Margetts, S. Bastow, e J. Tinkler. (2006). *Governança da era digital: corporações de TI, estado e E-Government*. Oxford, Reino Unido: Oxford University Press.

Eguizábal, S.E., Berodia, J.L.M., Portilla, Á.I., Ponce, J.B., (2018). Optimization model for school transportation design based on economic and social efficiency. *Transport Policy* 67, 93-101.

Ellegood, W.A., Campbell, J.F., North, J. (2015). Continuous approximation models for mixed load school bus routing. *Transportation research part B: Methodological* 77, 182–198.

Ellegood, W.A. e Solomon, S. e North, J. e Campbell, J.F. (2020). School bus routing problem: contemporary trends and research directions, *Omega (United Kingdom)* 95 102056, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305048318305127>.

Fisher, M.L. (1995) Vehicle routing. *Handbooks in Operations Research and Management Science: Network Routing*, v. 8, p.1–33. DOI:10.1016/S0927-0507(05)80105-7.

Ibeas, A., Moura, J.L., Dell'Olio, L., (2009). Planning school transport: design of routes with flexible school opening times. *Transport. Plann. Technol.* 32 (6), 527–544.

Kang, M., Kim, S.-K., Felan, J. T., Choi, H. R., & Cho, M. (2015). Development of a genetic algorithm for the school bus routing problem. *International Journal of Software Engineering and Its Applications*, 9(5), 107–126.

Kellerer, H., Pferschy, U., Pisinger, D.(2004). *Knapsack Problems*. 1. ed. Berlin: Springer, 546 p.

Krusser, Edison Aran Nunes et al.(2017). Transporte Escolar: Importância e Dificuldades. *Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa - Congrega Urcamp*, p. 378- 389.

Laporte, G., Gendreau, M., Potvin, J.Y., e Semet. F. (2000). Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem. *International Transactions in Operational Research*, v.7, n.4 e 5, p.285-300.

Laurindo, Alisson M. (2014). *A logística na Administração Pública: conceitos e métodos*. /(livro eletrônico) Alisson M. Laurindo, Alex V. Teixeira. Curitiba: InterSaber. (Série Gestão Pública).

Leachman, M., Albares, N., Masterson, K., e Wallace, M. (2016). Most states have cut school funding, and some continue cutting. *Center on Budget and Policy Priorities*.

Lima, F.M.S., Pereira, D.S., Coiceição, S.V., Nunes, N.T.R. (2016). A mixed load capacitated rural school bus routing problem with heterogeneous fleet: Algorithms for the Brazilian context. *Expert Systems With Applications* 56, 320-334.

Lu, Q. e M. Dessouky (2004). An Exact algorithm for the Multiple Vehicle Pickup and Delivery Problem. *Transportation Science*, v. 38, n. 4, p. 503–514. DOI:10.1287/trsc.1030.0040.

Marques, F. e Arenales, M. (2002). O problema da mochila compartimentada e aplicações. *Pesquisa Operacional*, v.22, n.3, p285-304.

Miranda, D. M. et al. A multi-loading school bus routing problem. (2018). *Expert Syst. Appl*, Pergamon Press, Inc., Elmsford, NY, USA, v. 101, n. C, p. 228–242. ISSN 0957-4174.

Miller, C.E., Tucker, A.W. and Zemlin, R.A. (1960) Integer Programming Formulations and Traveling Salesman Problems. *Journal of the Association for Computing Machinery*, 7, 326-329. <https://doi.org/10.1145/321043.321046>

Murray, A. T.; Gerrard, R. A. (1997). Capacitated service and regional constraints in location-allocation modeling. *Location Science*, v. 5, n. 2, p. 103-118.

Newton, R.M. e Thomas, W.H. (1969). Design of school bus routes by computer, *Socio-Econ. Plan. Sci.* 3(1) 75–85, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038012169900512>.

Oliveira, P. A. P. de. (2006). Desafios do planejamento em políticas públicas: diferentes visões e práticas. *Revista de Administração Pública*, v. 40, n. 1, p. 273-288.

Oliveira, Sebastiao de. (2014). *Gestão de transportes / Sebastiao Oliveira, Alessandra Petrech de Oliveira, Lúcia Maria Schutz de Lima.* – Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Park, J. e Kim, B.-I. (2010). "O problema do roteamento do ônibus escolar: Uma revisão". *European Journal of Operational Research*, vol. 202, nº 2 (abril), pp. 311-319.

Pereira, M. A. (2005). Um método Branch-and-Price para problemas de localização de p-medianas. Tese de Doutorado. INPE, São José dos Campos.

Pizzolato, N. D.; Raupp, F. M. P.; Alzamora, G. S. (2012). Revisão de desafios aplicados em localização com base em modelos da p-medianas e suas variantes. *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, v. 4, n. 1, p. 13-42.

Resolução SEED nº 777/2013 do Estado do Paraná, Programa Estadual do Transporte Escolar - PETE, Publicado no Diário Oficial nº. 8906 de 27 de fev. de 2013 disponível: <http://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/pesquisarAto.do?action=exibir&codAto=89706&indice=1&totalRegistros=1> Acesso em: 07 de dezembro de 2021.

Santos, Wellington Furtado; Simonetto, Eugenio de Oliveira; Ferreira, David Luiz Silva. (2017). Pesquisa Operacional aplicada à Administração: um estudo sobre os artigos internacionais publicados entre 1993 e 2013. *Revista de Administração da Universidade Federal de Santa Maria*, v. 10, n. 5, p. 844-853.

Schittekat, P., Kinable, J., Scorensen, K., Sevaux, M., Spiexsma, F., Springael, J., (2013). A metaheuristic for the school bus routing problem with bus stop selection. *Eur. J. Oper. Res.* 229 (2), 518–528.

Souza, W. M. (2004). Aplicação da mineração de dados para o levantamento de critérios do Programa Nacional de Transporte Escolar. Dissertação de Mestrado, Publicação T.DM – 11/2004, Departamento de engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, p.168.

Thangiah, S.R., Fergany, A., Wilson, B., Pitluga, A., Mennell, W. (2008). Roteamento de Ônibus Escolares em Distritos Escolares Rurais Sistemas auxiliados por computador no transporte público. Springer, pp. 209-232.

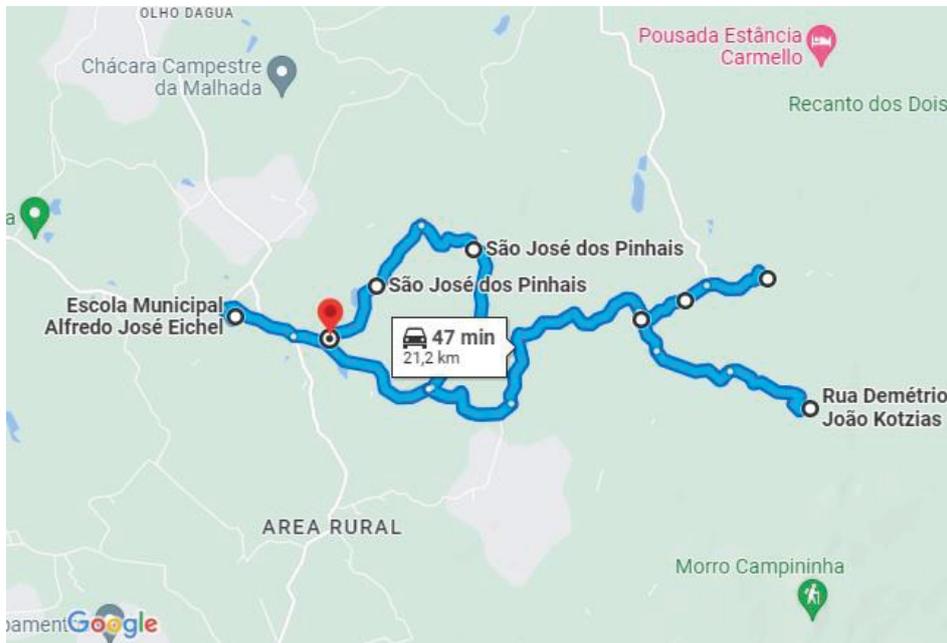
Štaštná, L., & Gregor, M. (2011). Local government efficiency: evidence from the Czech municipalities (IES Working Paper No. 14/2011). Prague, Czech Republic: Charles University.

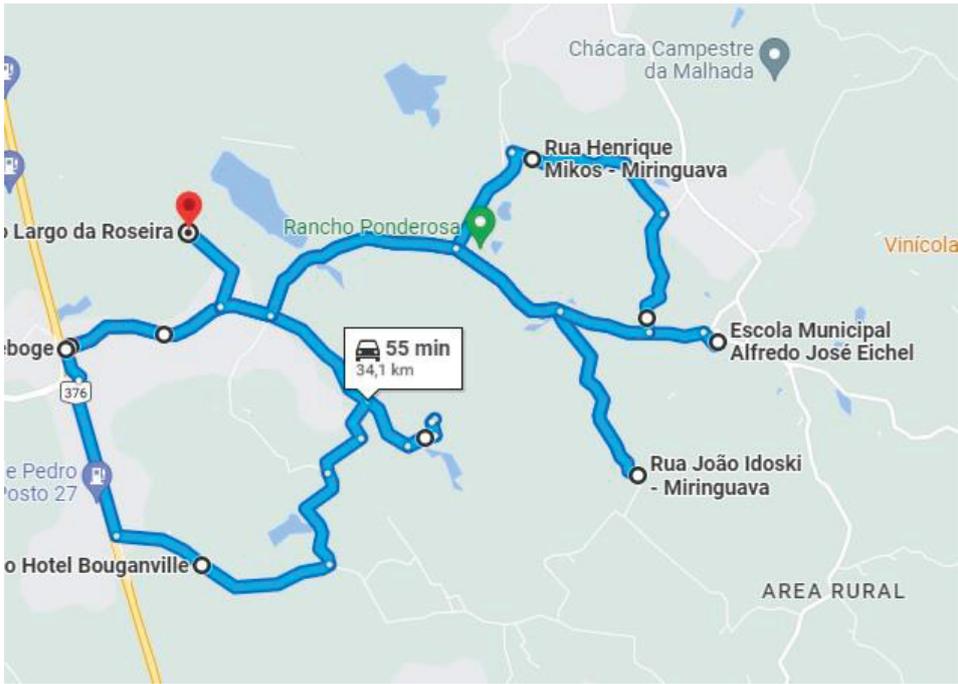
Torres, M. D. F. (2004). Estado, democracia e administração pública no Brasil. Rio de Janeiro: Editora FGV.

Yang, X., Lui, H., He, K. (2016). The significant impacts on traffic and emissions of ferrying children to school bus routing in Beijing. *Transp. Res. Part D: Transport Environ.* 47, 265-275.

APÊNDICE - MAPAS

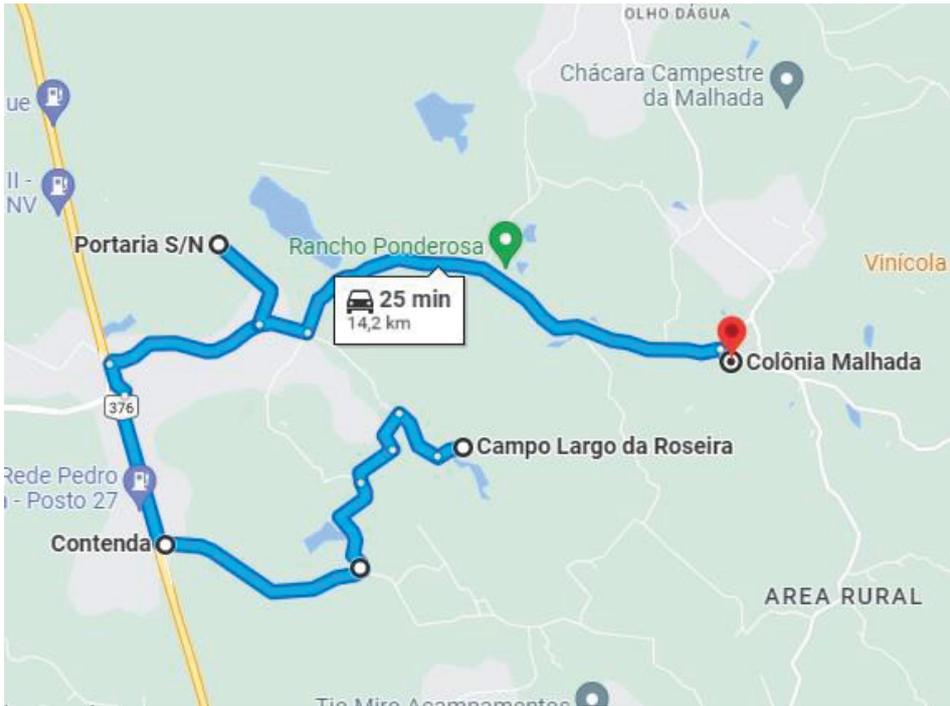
Escola Alfredo Eichel – Rota realizada em 2022 - período da manhã

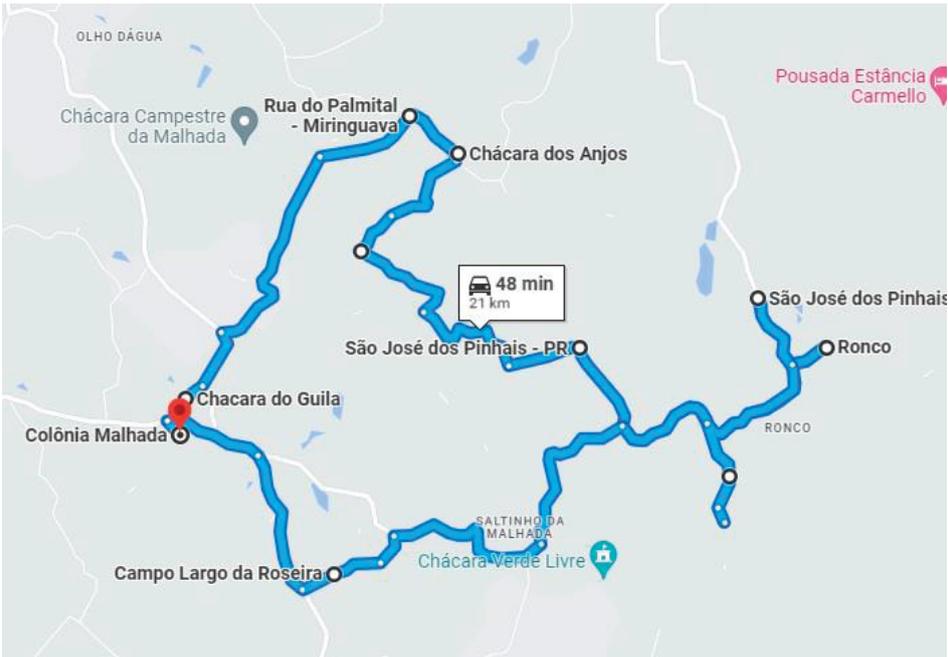




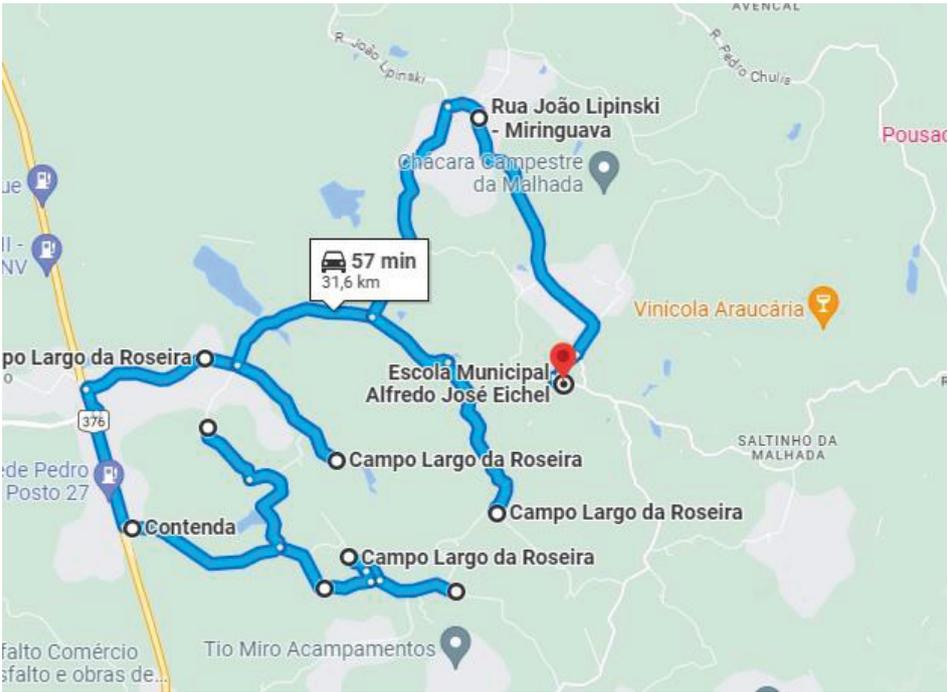
Escola Alfredo Eichel – Rota sugerida para o ano de 2022 - período da manhã

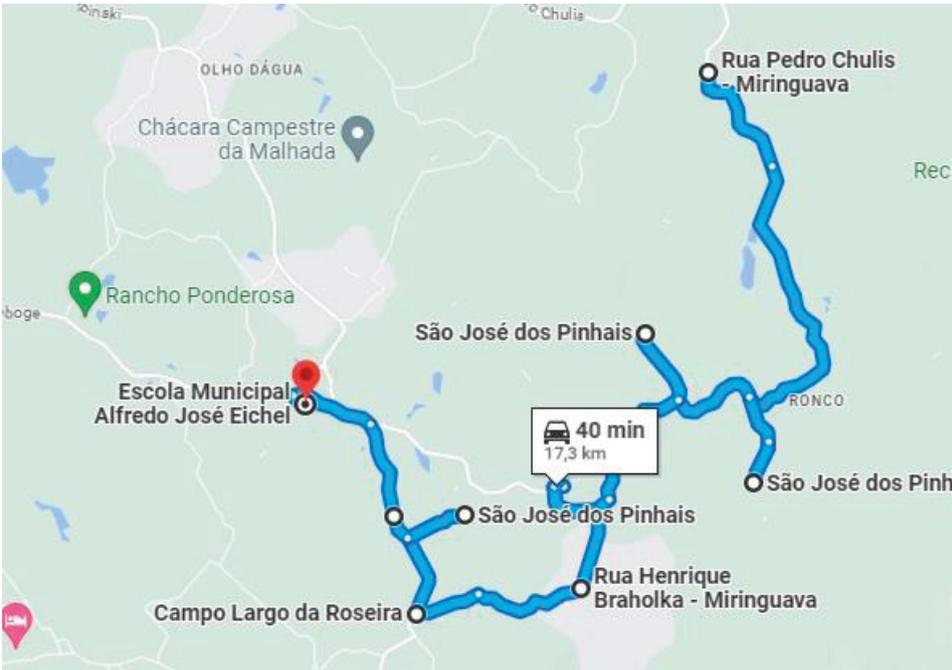




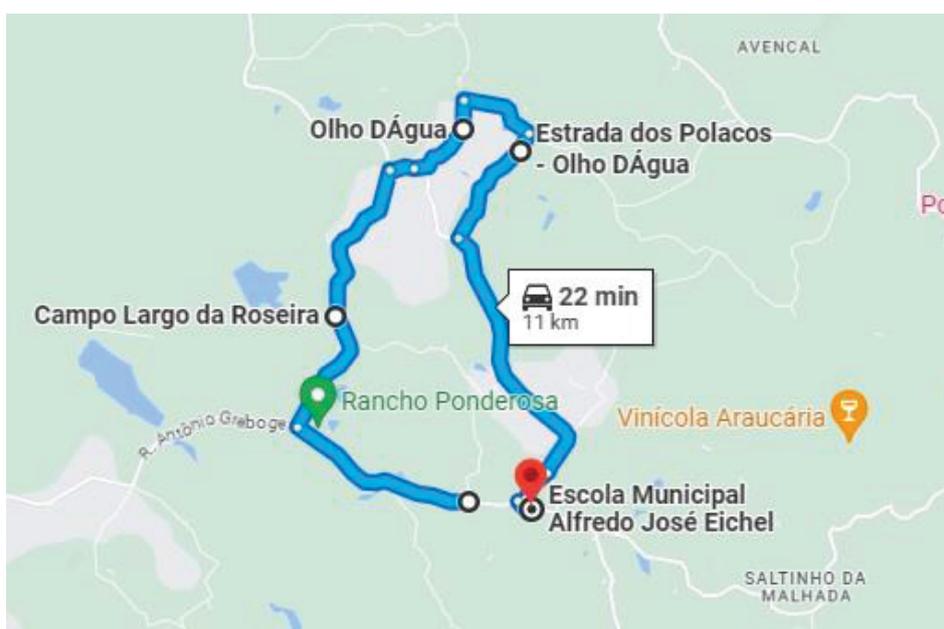
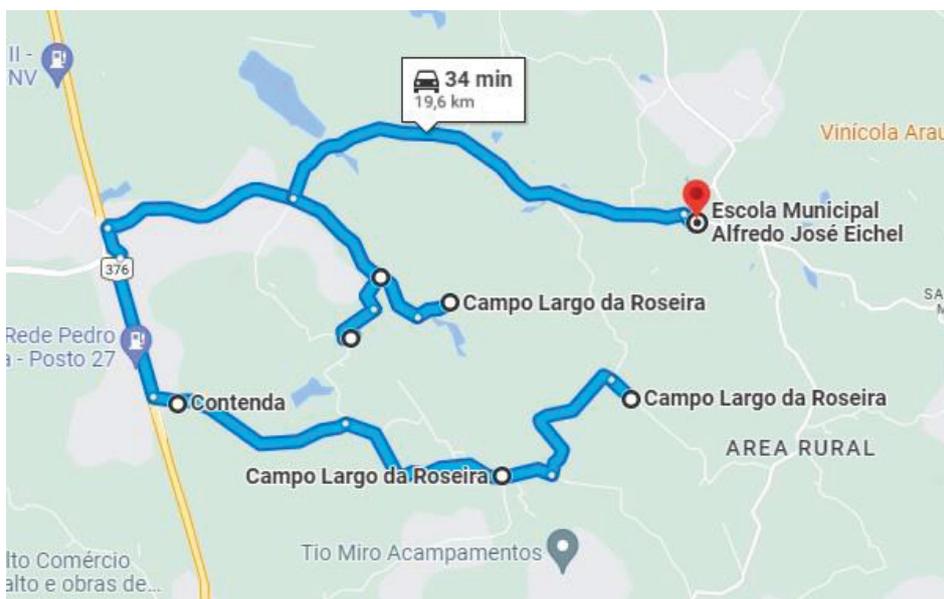


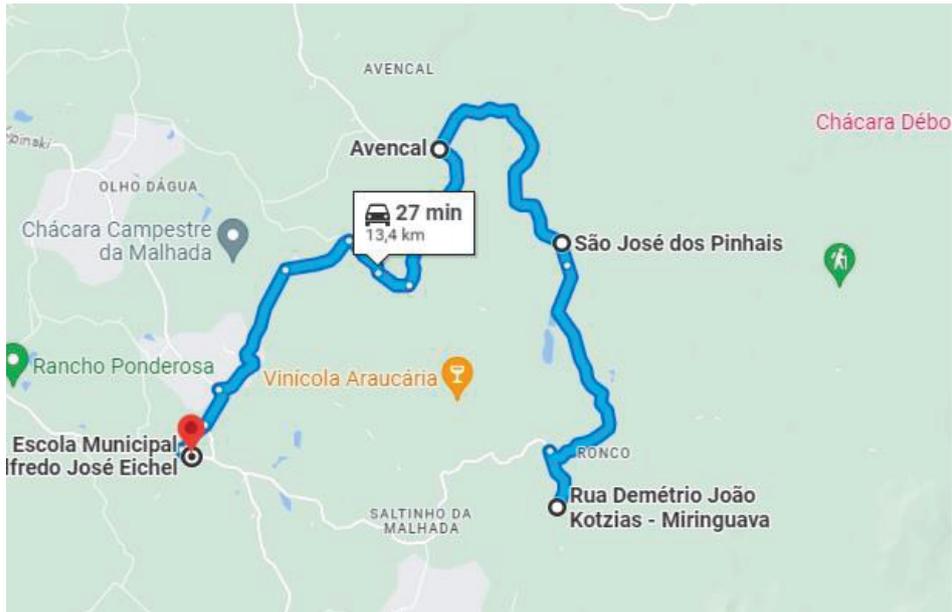
Escola Alfredo Eichel – Rota realizada em 2022 - período da tarde



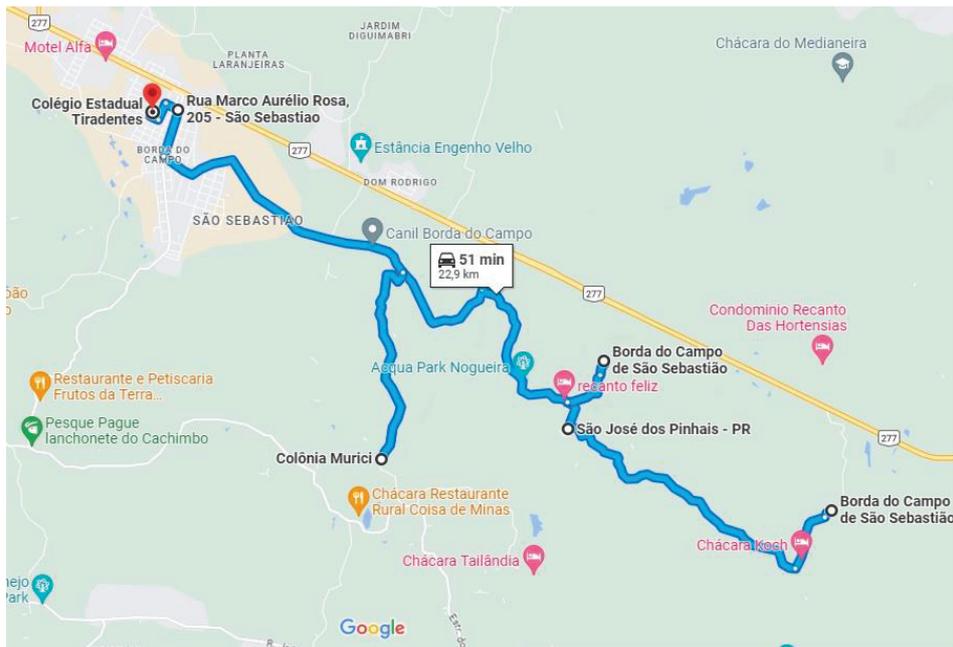


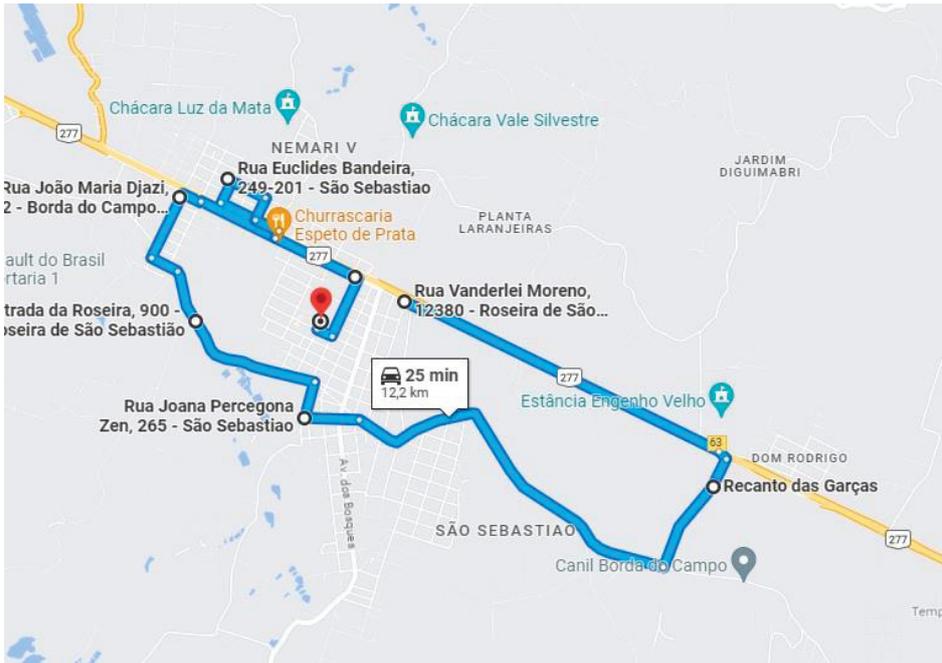
Escola Alfredo Eichel – Rota sugerida para o ano de 2022 - período da tarde



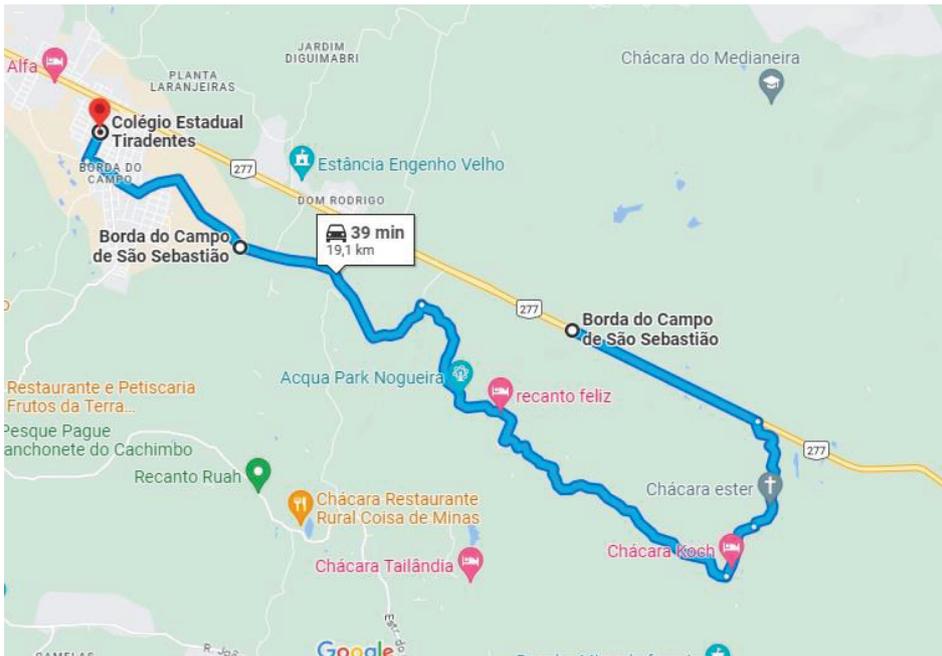


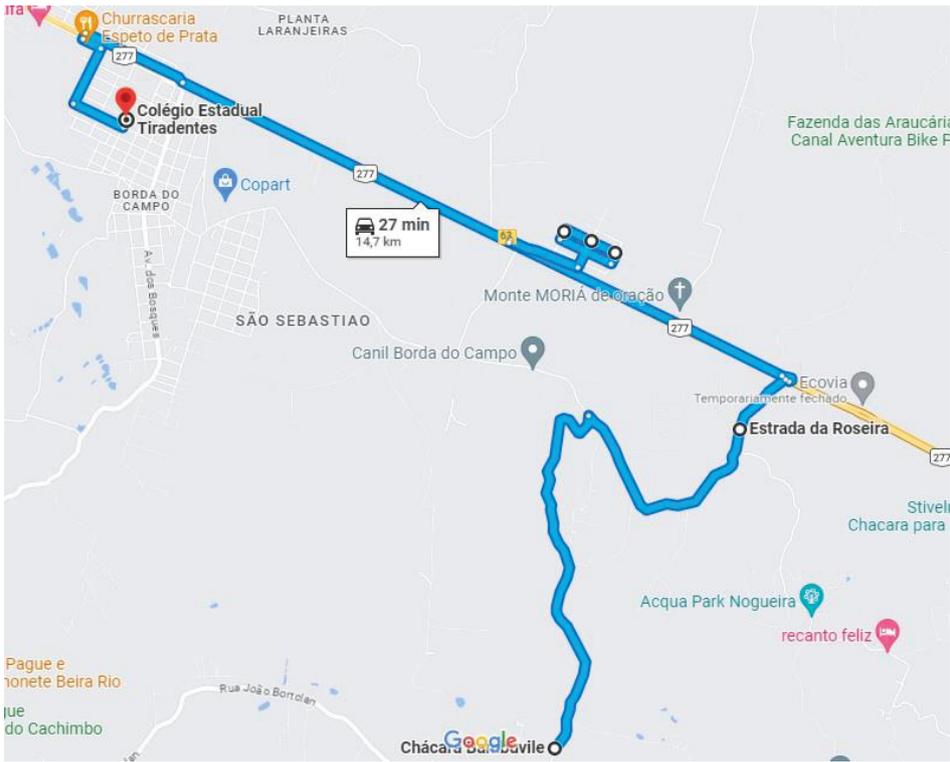
Colégio Tiradentes – Rota realizada em 2022 - período da manhã

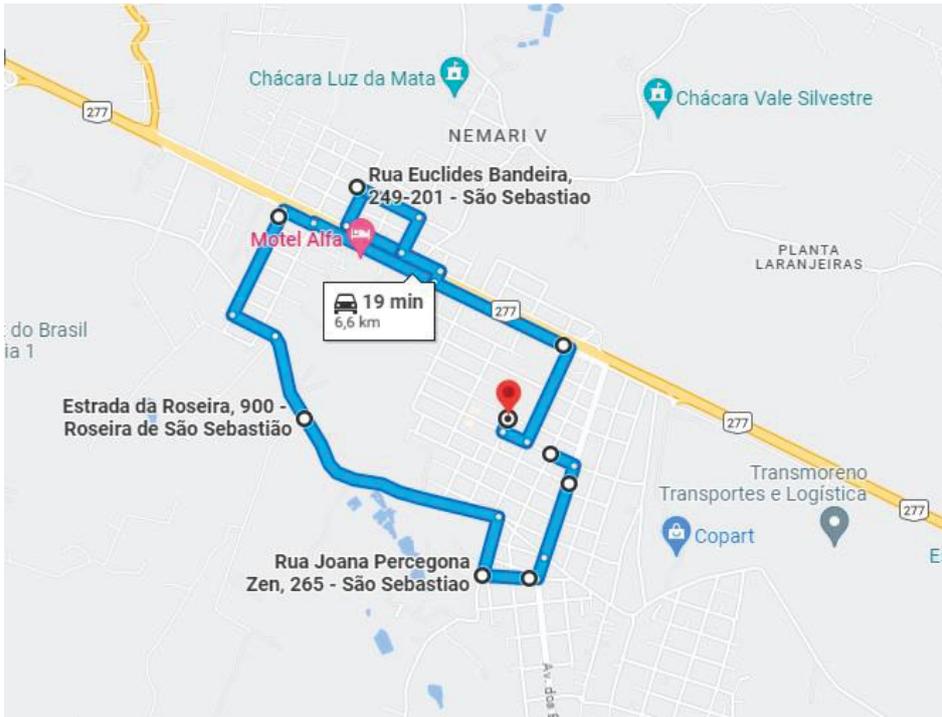




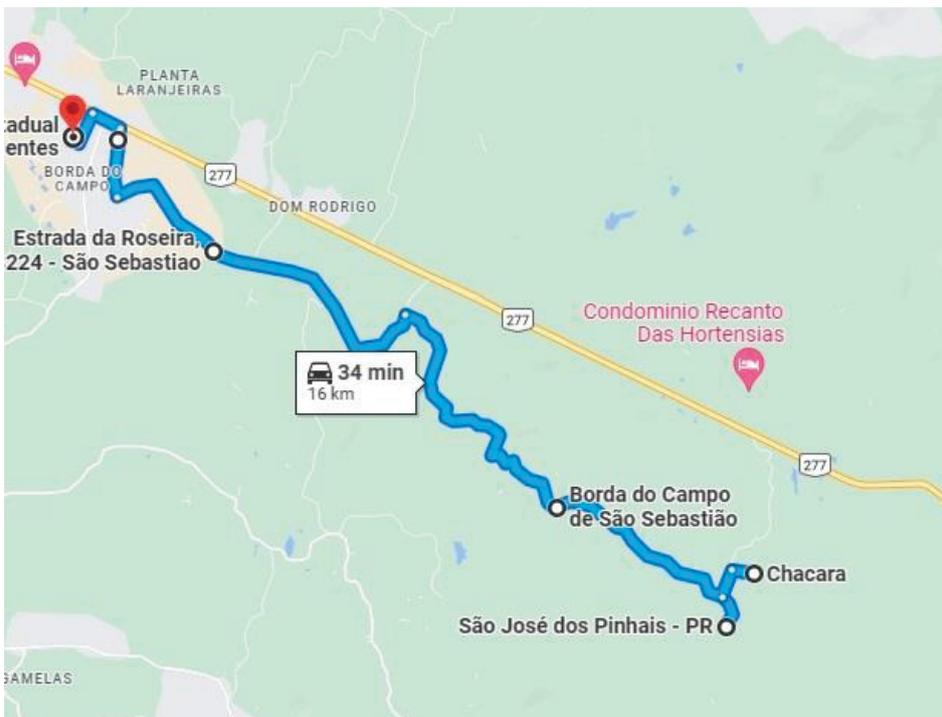
Colégio Tiradentes – Rota sugerida em 2022 - período da manhã

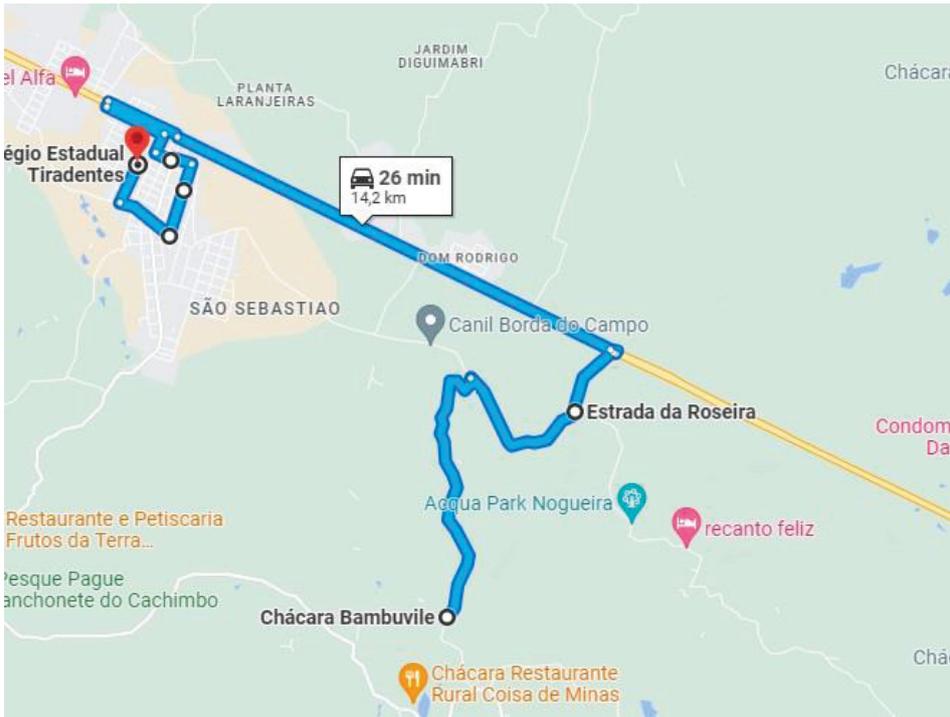


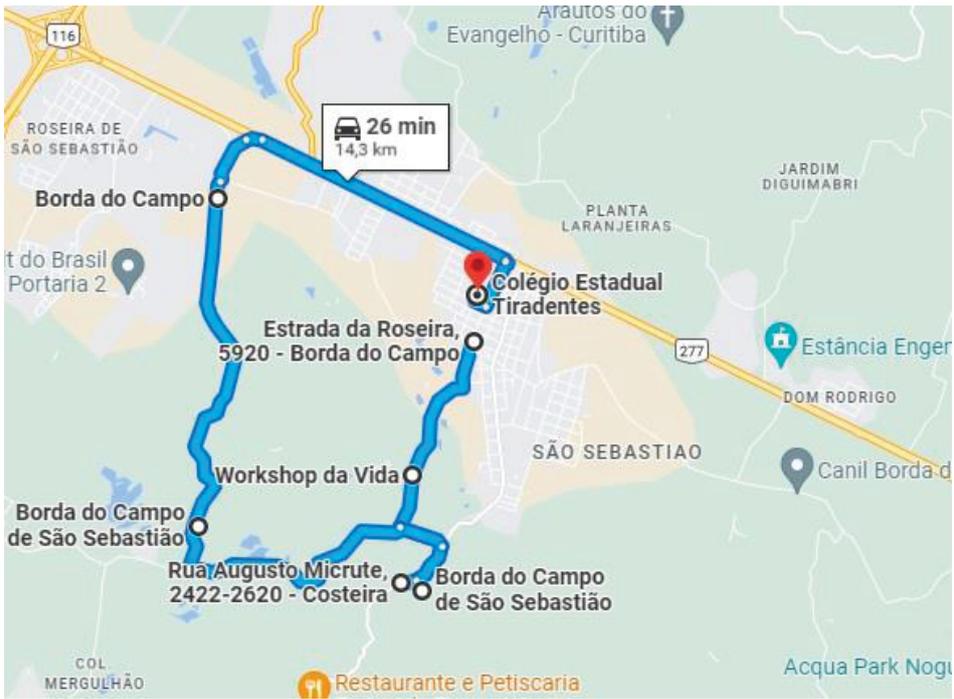




Colégio Tiradentes – Rota realizada em 2022 - período da tarde







Colégio Tiradentes – Rota sugerida em 2022 - período da tarde



