



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ARAGUAÍNA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM LOGÍSTICA**

ALEX SILVA MENDONÇA

**PROPOSTA DE ROTEIRIZAÇÃO PARA O TRANSPORTE PÚBLICO ESCOLAR
DE ARAGUAÍNA - TOCANTINS**

**Araguaína, TO
2023**

Alex Silva Mendonça

Proposta de Roteirização para o Transporte Público Escolar de Araguaína - Tocantins

Artigo apresentado à Universidade Federal do Tocantins (UFT), Campus Universitário de Araguaína, para obtenção do título de Tecnólogo em Logística.

Orientador: Prof. Dr. David Gabriel de Barros Franco.

Araguaína, TO

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

M539p Mendonça, Alex Silva.
Proposta de Roteirização para o Transporte Público Escolar de Araguaína - Tocantins. / Alex Silva Mendonça. – Araguaína, TO, 2023.
26 f.

Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Araguaína - Curso de Logística, 2023.
Orientador: David Gabriel de Barros Franco

1. Roteamento de Veículos. 2. Transporte Público. 3. Pesquisa Operacional. 4. Problema do Caixeiro-Viajante. I. Título

CDD 658.5

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Alex Silva Mendonça

Proposta de Roteirização para o Transporte Público Escolar de Araguaína - Tocantins

Artigo apresentado à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Araguaína, Curso Superior de Tecnologia em Logística, foi avaliado para a obtenção do título de Tecnólogo em Logística e aprovado em sua forma final pelo Orientador(a) e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 03 / Julho / 2023

Banca Examinadora:

Prof. Dr. David Gabriel de Barros Franco – Orientador, UFT

Prof. Dr. Warton da Silva Souza – Examinador, UFT

Prof.^a Ma. Clarete de Itoz – Examinadora, UFT

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente, a Deus porque sem Ele nada disso seria possível, e também por Ele ter colocado pessoas especiais ao longo desse caminho.

Agradeço imensamente à Universidade Federal do Tocantins (UFT) por ter me proporcionado tantos ensinamentos ao longo da graduação.

Agradeço a todos os professores do colegiado do curso superior de tecnologia em Logística, que fizeram parte dessa caminhada até aqui. Especialmente ao meu orientador Professor Dr. David Gabriel de Barros Franco, que me auxiliou em toda a elaboração deste trabalho, sanando minhas dúvidas com muita paciência e compreensão. Também agradeço à professora Ma. Clarete de Itoz, que também me auxiliou na reta final da minha graduação.

Por último, agradeço a todos os meus familiares e amigos, em especial minha mãe Luana, que sempre distante me deu total apoio ao longo da minha graduação e que sempre sonhava em ter seus dois filhos formados.

RESUMO

O transporte público possibilita o atendimento às populações no que diz respeito à sua locomoção, proporcionando a ligação entre diversas regiões de uma cidade, permitindo o deslocamento de pessoas ou mercadorias. No município de Araguaína, Tocantins, um dos principais problemas no transporte público é a questão de atrasos e congestionamentos nas principais vias da cidade. A proposta desse artigo é implementar um modelo matemático para otimização de uma rota para o transporte público escolar, com base nas 17 escolas de ensino médio da rede pública da cidade. Nessa modelagem, a abordagem escolhida foi a do Problema do Caixeiro-Viajante (PCV), que consiste em traçar uma rota de menor percurso, partindo de um ponto, visitando todos os outros uma única vez e retornando ao ponto de origem. Com a rota otimizada, seria possível percorrer todo o trajeto de 30,8 km em aproximadamente uma hora, acrescida dos tempos de embarque e desembarque. Com propostas como essa, seria possível atender a um grande número de passageiros e ainda gerar economias de tempo e combustível, além de proporcionar satisfação aos usuários, que poderiam chegar mais rapidamente ao destino desejado.

Palavras-chaves: Roteamento de Veículos. Transporte Público. Pesquisa Operacional. Problema do Caixeiro-Viajante.

ABSTRACT

Public transport makes it possible to serve populations regarding their locomotion, providing a connection between different regions of a city, allowing the movement of people or goods. In the municipality of Araguaína, Tocantins, one of the main problems in public transport is the issue of delays and congestion on the main roads of the city. The purpose of this article is to implement a mathematical model to optimize a route for public school transport, based on the 17 public high schools in the city. In this modeling, the chosen approach was the Traveling Salesman Problem (TSP), which consists of tracing a shortest route, starting from a point, visiting all the others only once and returning to the point of origin. With the optimized route, it would be possible to travel the entire 30.8 km journey in approximately one hour, plus boarding and disembarking times. With proposals like this one, it would be possible to serve a large number of passengers and still generate savings in time and fuel, in addition to providing satisfaction to users, who could reach their desired destination more quickly.

Keywords: Vehicle Routing. Public transportation. Operational Research. Traveling Salesman Problem.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1	Problema do Caixeiro-Viajante	10
2.2	Transporte público urbano	11
2.3	Aplicações encontradas na literatura	11
3	METODOLOGIA	15
3.1	Cenário da pesquisa	15
3.2	Coleta de dados	16
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	18
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	22
	REFERÊNCIAS	23
	APÊNDICE	25

1 INTRODUÇÃO

O transporte público, em suas atividades diárias, sejam elas relacionadas às necessidades sociais ou econômicas, possibilita o atendimento às populações no que diz respeito à sua locomoção, podendo essa ocorrer em diversas formas, entre elas ônibus, vans, veículos de pequeno porte ou motocicletas. O transporte público coletivo urbano tem como finalidade proporcionar a ligação entre diversas regiões de uma cidade, permitindo o deslocamento de pessoas ou mercadorias entre diversos pontos (CORDEIRO *et al.*, 2006).

No município de Araguaína, Tocantins, um dos principais problemas no transporte público é a questão de atrasos e congestionamentos nas principais vias da cidade, o que está associados com o aumento contínuo do fluxo de veículos automotores e a falta de planejamento de infraestrutura adequada e que comporte o tráfego crescente. Isso impacta diretamente a qualidade dos serviços prestados e a satisfação dos usuários (SAMPAIO, 2006).

Uma roteirização eficiente visa reduzir o tempo de percurso entre uma escola e outra, objetivando minimizar o percurso que os ônibus fazem durante o dia e, assim, o consumo de combustível e o tempo que o passageiro despende no transporte, reduzindo custos e melhorando a eficiência nos serviços prestados no transporte público no município de Araguaína. A abordagem matemática escolhida para a solução foi o Problema do Caixeiro-Viajante (PCV). Para BALLOU (2006), o PCV consiste em traçar uma rota que retorne o menor percurso, partindo de um ponto, visitando todos os outros uma única vez e retornando ao ponto de origem.

Nesse sentido, surge a seguinte questão-problema da pesquisa: é possível utilizar a modelagem matemática como auxiliar na tomada de decisão do transporte público do município de Araguaína, Tocantins? O objetivo geral da pesquisa é definir uma rota ótima de transporte público escolar em Araguaína, Tocantins. Os objetivos específicos são: mapear as escolas de ensino médio do município; identificar as principais aplicações da modelagem matemática aplicada ao problema de roteirização; criar uma rota de transporte utilizando a abordagem do PCV; apresentar uma solução prática para o problema.

O problema de roteamento de veículos aplicado ao transporte escolar está alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU, 2023) ao contribuir para a criação de cidades sustentáveis (ODS 11), melhorar a infraestrutura de transporte (ODS 9), promover a ação contra as mudanças climáticas (ODS 13) e garantir a educação de qualidade (ODS 4). Ao otimizar as rotas de veículos escolares, reduzindo emissões

de poluentes, congestionamentos e promovendo acessibilidade, o roteamento de veículos pode impulsionar o desenvolvimento sustentável em diversas áreas.

Nesse cenário, justifica-se a importância de um estudo científico e lógico no processo de tomada de decisão, especificamente a roteirização no transporte público escolar, tendo-se em vista que através deste processo pode-se otimizar a distribuição de grandes massas, promovendo o aumento da eficiência operacional, minimizando quilometragens e, conseqüentemente, o consumo de combustível, os gastos com manutenção, melhorando também com a qualidade dos serviços prestados (SILVA, 2019).

As limitações encontradas na pesquisa foram a pouca disponibilidade de dados reais atualizados do município de Araguaína e a aplicação de apenas um único método matemático (PCV) sem considerar detalhes como o número ótimo de veículos a serem utilizados, restrições de capacidade dos veículos e demanda em cada escola, além da possibilidade de múltiplas rotas independentes, o que caracteriza um Problema de Múltiplos Caixeiros-Viajantes (PMCV).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Problema do Caixeiro-Viajante

Segundo Cunha *et al.* (2002), a origem do PCV é atribuída a Willian Rowan Hamilton, que, por meio do seu jogo chamado de *Around the World* (Volta ao Mundo), estimulou a construção de um roteiro, por meio dos vértices de um dodecaedro. Tal jogo tinha como regras que o início e término do roteiro deveriam ser no mesmo ponto (vértice) e que a visita deveria ocorrer a todos os pontos do poliedro, contudo, sem que houvesse repetições dos pontos já visitados (KLOCKNER, 2017).

Conforme Silva, Ferreira e Steiner (2019), problemas de roteamento de veículos podem ser representados por grafos do tipo $G(N,A)$, no qual $N = \{1,2,3,\dots,n\}$ é um conjunto de n vértices (pontos) que serão atendidos e $A(i,j)$ é o conjunto de arcos (percursos) entre dois vértices i e j . Para cada arco, c_{ij} é o custo do transporte entre os pontos i e j . A variável de decisão x_{ij} assumirá o valor “1” caso o vértice j seja atendido na sequência do vértice i ou “0” caso contrário. O modelo matemático de Programação Linear Inteira Binária (PLIB) para a solução exata para o PCV é dado pelas equações (1) a (7).

$$\min Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{Sujeito a:} \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n f_{ji} - \sum_{j=1}^n f_{ij} = 1 \quad \forall i = 2, \dots, n \quad (4)$$

$$f_{ij} \leq (n-1)x_{ij} \quad \forall i, j = 1, \dots, n \quad (5)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j = 1, \dots, n \quad (6)$$

$$f_{ij} \in \mathbb{Z} \quad \forall i, j = 1, \dots, n \quad (7)$$

A Função Objetivo (1) minimiza o custo total do transporte. As restrições (2) e (3) garantem que apenas um veículo saia e chegue em cada vértice. A equação (4) mostra que a diferença entre o fluxo de entrada e saída de um cliente deve ser igual a 1. A restrição (5)

descreve que o fluxo em cada cliente é menor ou igual ao número de clientes menos 1. E as equações (6) e (7) determinam que as variáveis devem ser binárias e inteiras, respectivamente.

2.2 Transporte público urbano

Em um mundo cada vez mais globalizado dada a importância do serviço de Transporte público urbano que é essencial para o desenvolvimento econômico e social do município, promover mobilidade e acessibilidade da população é direito do poder público manter ciência da qualidade aos serviços prestados do transporte público urbano é direito do cidadão. As classes de baixa renda são os principais clientes/usuários destes serviços, muitos não tem condições financeiras de adquirir um veículo automotor, ou não sabem pilotar ou dirigir e utiliza-se dos serviços da Agência Municipal de Transporte e Trânsito (AMTT), para chegar ao trabalho, escola, instituições financeiras, hospitais e lazer, fato este que influenciam diretamente na qualidade de vida e do trânsito em diversos segmentos da sociedade (COSTA, 2016).

Conforme Kneib, (2020) o autor avaliar o sistema de transporte público coletivo eficiente e que atenda às necessidades dos cidadãos e que mostra-se cada vez mais essencial para garantir uma mobilidade adequada nas cidades. Apesar de numerosos benefícios às cidades, este sistema está implexo em inúmeros desafios, os quais muitas vezes excedem o âmbito do transporte público na cidade.

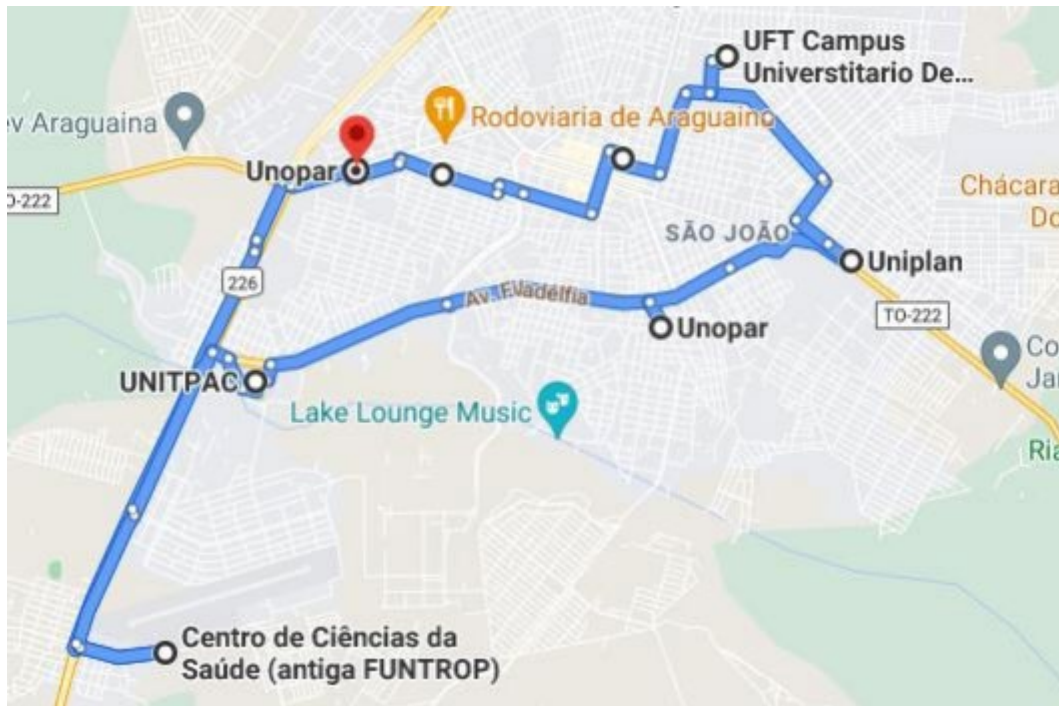
O autor também cita os desafios do transporte coletivo no âmbito municipal que são muitos, maiores ainda são os desafios dos sistemas localizados em regiões metropolitanas, demandando um processo que integre e articule as decisões e as políticas públicas Compreendendo que as soluções para a melhoria do transporte coletivo incluem medidas e ações integradas e articuladas que extrapolam o âmbito deste sistema, assim como o papel essencial da governança Inter Federativa para se obter um serviço que atenda às necessidades dos cidadãos. (KNEIB, 2020).

2.3 Aplicações encontradas na literatura

Em uma aplicação ao transporte público universitário, foi demonstrando o uso do PCV, que buscou encontrar o circuito de menor custo que conectava oito Instituições de Ensino Superior (IES) de Araguaína. Nessa aplicação, foi possível construir uma rota ótima com 26,4 km e tempo ideal de percurso de aproximadamente 44 minutos. A implantação dessa rota

proporcionaria aos estudantes uma alternativa às rotas fragmentadas existentes, permitindo maior integração entre as IES e redução no tempo de deslocamento entre elas, além de conectar vários pontos centrais da cidade (FERREIRA, 2021). A Figura 1 apresenta o mapa das oito IES selecionadas e a rota ótima encontrada.

Figura 1 – Rota ótima do transporte universitário de Araguaína.



Fonte: Ferreira (2021).

Em um estudo do problema de roteirização de veículos em uma indústria de alimentos não perecíveis, foi utilizado o método da heurística do vizinho mais próximo, que consiste em, partindo de um ponto, procurar o ponto mais próximo a ele e inseri-lo na rota. Em seguida, pode-se elaborar o plano de roteirização programado quanto à quilometragem, tempo de percurso, veículo e dias necessários para a realização de entregas de produtos para as rotas analisadas.

O plano proposto se mostrou eficaz no que tange a redução de custos com transportes, visto que o número de caminhões foi reduzido de cinco para três e, então, pode-se diminuir os custos com combustíveis e demais gastos referentes aos veículos, além da redução do número de motoristas, gerando uma redução de 40% dos custos logísticos. (SILVA, 2019).

Em uma empresa de laticínios em Uberlândia, Minas Gerais, foi usada a modelagem matemática do PRV para criar rotas ideais a serem atendidas por cada veículo, percorrendo desta maneira a menor distância possível. Com o resultado do modelo aplicado, a Função

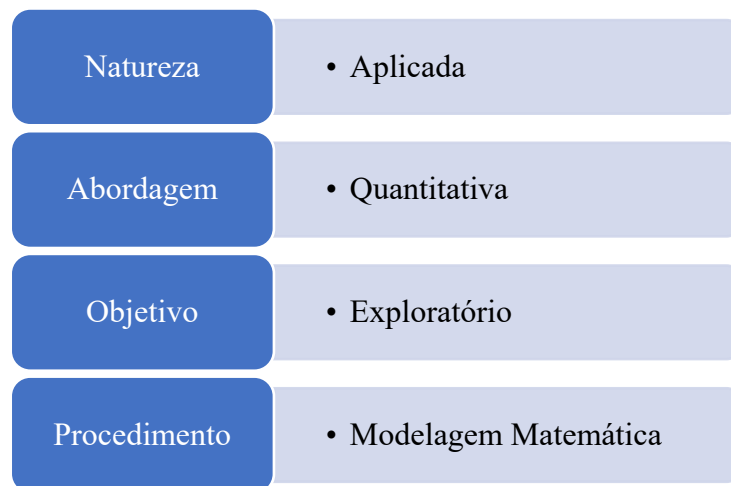
Na atual rota utilizada são percorridos 192 km diariamente. Utilizando modelagem matemática, foi possível reduzir a distância percorrida para 102 km. Isso equivale à redução do consumo de combustível de 54 litros para 28 litros de diesel por dia, totalizando uma redução mensal de R\$ 6.742,57 para R\$ 3.116,40 (GOMES *et al.*, 2019).

E um estudo, utilizando programação linear e georreferenciamento, aplicado à otimização do transporte de madeira entre os municípios de Bofete e Salto, em São Paulo, foram comparados os custos de transporte de veículos Bitrem e Tritrem. Na comparação das rotas analisadas, constatou-se uma redução de custos de 13% ao mês no sistema otimizado. (CARDOSO *et al.*, 2016).

3 METODOLOGIA

Este artigo parte do conceito de natureza aplicada. A pesquisa aplicada tem como propósito a geração de conhecimento para aplicações práticas dirigidas à solução de problemas específicos. A pesquisa apresenta também uma abordagem quantitativa, onde se tem o objetivo de verificar estatisticamente uma hipótese a partir da coleta de dados concretos e quantificáveis. Com objetivo exploratório, buscando explorar possibilidades e cenários que ainda não foram desvendados e familiarizar-se com uma situação abordada (CRESWELL e CRESWELL, 2021). A Figura 4 resume a metodologia adotada nessa pesquisa.

Figura 4 – Metodologia adotada.



Fonte: o autor (2023).

Partindo de fatores que compõem as variáveis de transporte e localização, atenção foi direcionada para a etapa de implementação da modelagem matemática (procedimento adotado nessa pesquisa) para a otimização da rota usada atualmente no transporte público do município de Araguaína. São realizadas análises em documentos, coletas de dados, identificação do processo atual da mobilidade urbana no município e os impactos da aplicação da roteirização quanto à satisfação e melhoria do nível de serviço no transporte público de passageiros.

3.1 Cenário da pesquisa

A cidade de Araguaína fica situada na região norte do Estado do Tocantins, com população de aproximadamente 183.381 habitantes, segundos dados do Instituto Brasileiro de

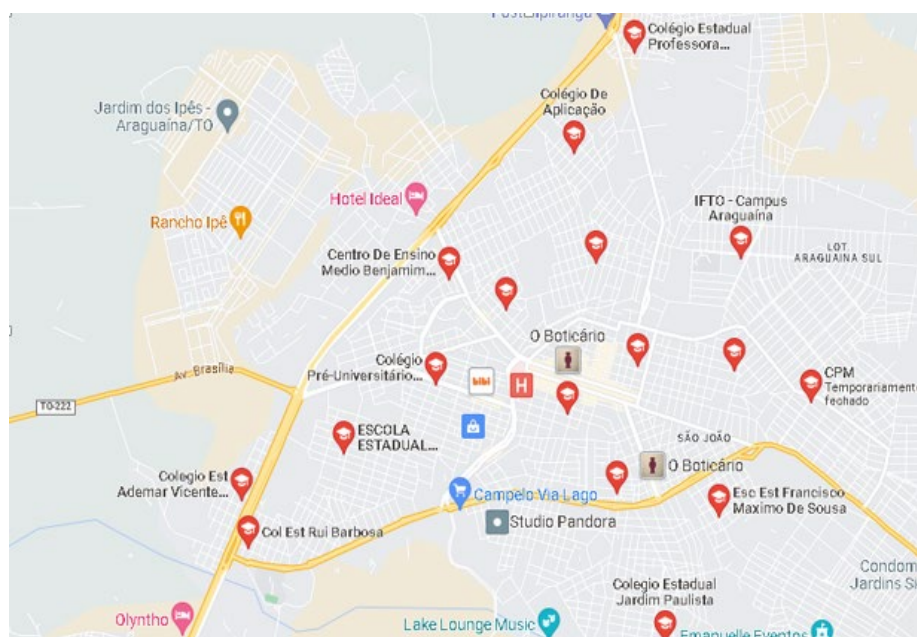
Geografia e Estatística – IBGE (2020). Araguaína possui atualmente 11 linhas de ônibus em toda a cidade, com um total de 24 veículos para atender toda a demanda da cidade, segundo informações retiradas no site da AMTT (2023).

O desenvolvimento da cidade de Araguaína está associado com o aumento do fluxo de pessoas e mercadorias. A utilização de veículos facilita esta movimentação, gerando condições para que diversos tipos de atividades aconteçam. Entre os meios de transportes utilizados, o transporte público é, sem dúvida, essencial para a mobilidade e a acessibilidade em grandes centros urbanos. Araguaína possui a segunda maior frota de veículos em todo o estado, sendo que a infraestrutura e o serviços prestados não são totalmente adequados para sua atual população.

3.2 Coleta de dados

Em termos de colégios de ensino médio públicos, sendo eles estaduais e federais, Araguaína possui um total de 18 escolas no município, sendo em horários matutino, vespertino e noturno. Dentro eles foram escolhidos 17 escolas para a implementação do modelo matemático, sendo excluída uma escola fora do perímetro da cidade, o que aumentaria significativamente o tempo de percurso e a quilometragem da rota ótima. A Figura 5 apresenta o mapa das dezessete escolas selecionadas.

Figura 5 – Mapa das escolas selecionadas.



Fonte: Google Maps (2023).

As distâncias entre as escolas foram calculadas utilizando-se o *Google Maps*. A matriz de distâncias gerada é do tipo assimétrica, ou seja, as distâncias de ida e volta entre dois pontos não são, necessariamente, idênticas, e possui um total de $n = 17^2 - 17 = 272$ pontos (a matriz de distâncias está disponível no Apêndice). Utilizando-se o modelo matemático apresentado na seção 2.1 (equações 1 a 7) foi possível resolver o PCV de maneira exata.

A coleta de dados é uma etapa fundamental na modelagem de problemas de roteamento de veículos. No entanto, essa tarefa pode enfrentar algumas dificuldades, tais como a disponibilidade de dados precisos e atualizados, além de questões relacionadas à privacidade e confidencialidades dos dados coletados. Nessa pesquisa, a principal limitação está relacionada à disponibilidade de dados como demanda por transporte público e localização dos usuários, o que limitou o modelo a ser aplicado a um simples PCV.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A execução do modelo matemático foi realizada no Google Planilhas, utilizando-se o complemento *OpenSolver* para a inserção das variáveis e restrições, e demorou cerca de 8 minutos para retornar a solução. No Quadro 1 é apresentada a rota ótima encontrada.

Quadro 1 – Rota ótima encontrada.

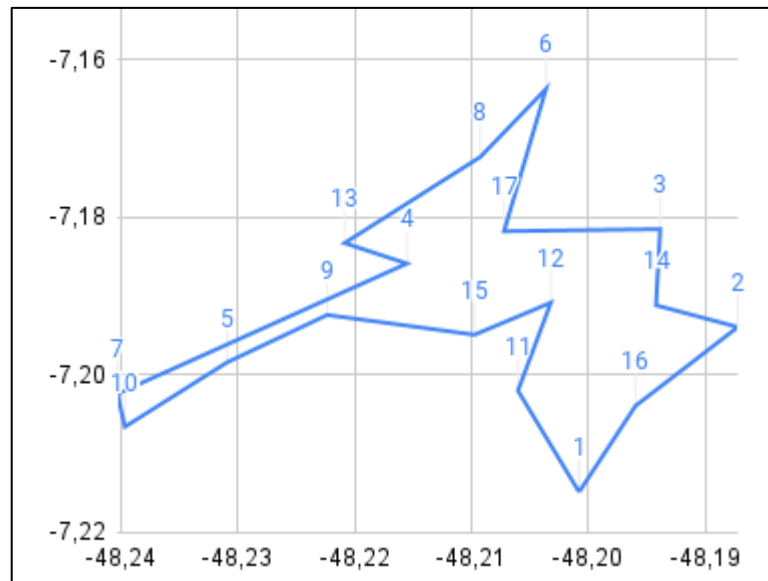
Ponto	Referência
1	Colégio Estadual Jardim Paulista, localizada na R. dos Soldados, 377
2	Escola Estadual Francisco Máximo de Sousa, localizado na Av. Santa Teresinha, 431
3	Colégio da Polícia Militar, localizado na Av. Goiás, 626-726
4	Colégio Estadual Adolfo Bezerra, localizado na R. Gonçalves Lêdo, 1220
5	Instituto Federal do Tocantins (IFTO), localizado na Av. Amazonas esquina com a Av. Paraguai
6	Colégio Jorge Amado, Localizado na R. Ademar Vicente Ferreira, 2960
7	Colégio Estadual Professora Silvandira Sousa Lima, Localizada na Rua 10, Vila Couto
8	Colégio de Aplicação, localizado na Rua G, 140, Loteamento Couto Magalhães
9	Centro de Ensino Médio Benjamim, localizado na Rua Qc 0002 S/N
10	Escola Estadual Marechal Rondon, localizado na Praça Marechal Rondon, Setor Neblina
11	Colégio Estadual Ademar Vicente Ferreira, localizado na Av. Lontra, 727
12	Colégio Estadual Rui Barbosa, localizado na Rua Minas Gerais, 474
13	Escola Estadual João Guilherme L. Kunze, localizado na Av. São Pedro, S/N, Setor São Miguel
14	Colégio Pré-Universitário, localizado na Av. José de Brito, 426
15	Centro de Ensino Médio Paulo Freire, localizado na R. Sadoc Correa, 488
16	Colégio Guilherme Dourado, localizado na Rua Adevaldo de Moraes, 284
17	Centro de Ensino Médio Castelo Branco, localizado na R. Seis, S/N, Vila Aliança

Fonte: dados da pesquisa (2023).

A distância total da rota encontrada é de 30,8 km e o tempo de percurso é de aproximadamente 1 hora, com variações que dependem das condições do tráfego. A figura 6 apresenta o grafo da rota ótima encontrada, considerando as conexões diretas entre os pontos.

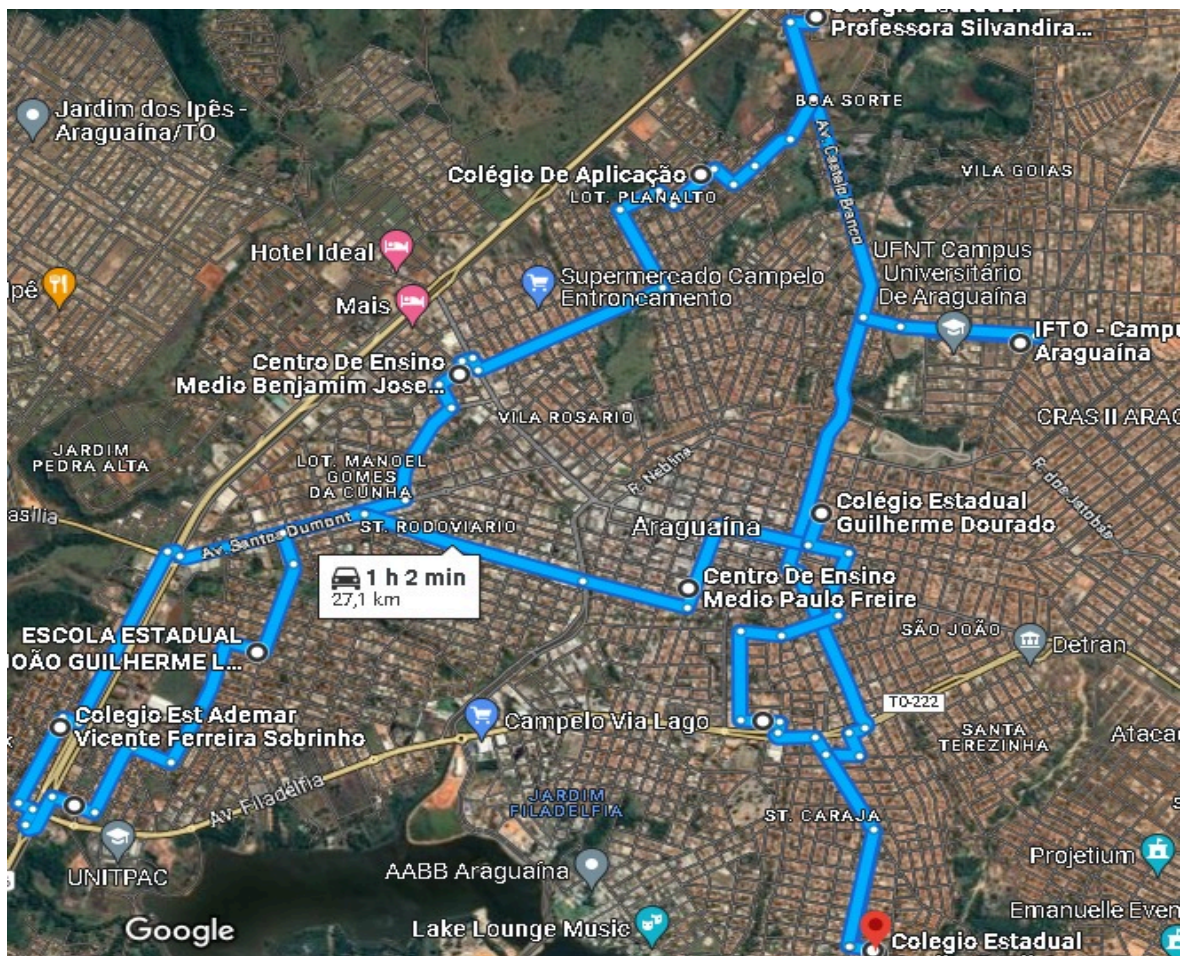
Na representação através do grafo é possível perceber, no plano Euclidiano, que não há sobreposição de trajetos, o que nem sempre ocorre em situações reais, o que pode ser notado no mapa com a rota ótima real dentro do município. Isso ocorre devido à limitação da infraestrutura de transporte que gera uma série de gargalos, como ruas de mão única, interdições e falta de planejamento urbanístico. A Figura 7 apresenta o trajeto da rota ótima.

Figura 6 – Grafo representando a rota ótima.



Fonte: o autor (2023).

Figura 7 – Mapa da rota ótima.



Fonte: Google Maps (2023).

A figura 7 apresenta uma rota otimizada que atende a todas as restrições impostas pelo PCV, ou seja, o trajeto atende todos os pontos de embarque e desembarque e o veículo passa somente uma vez em cada estabelecimento de ensino, retornando ao ponto de partida. É importante destacar que o tempo de realização da rota não leva em consideração fatores como o clima, obras, acidentes, problemas mecânicos, entre outros imprevistos.

A implementação de um sistema eficiente de roteamento de veículos para o transporte escolar pode trazer diversos benefícios econômicos para o município. Primeiramente, a otimização das rotas reduzirá o tempo de viagem e o consumo de combustível, resultando em economia direta para o orçamento da prefeitura e dos pais dos alunos, que muitas vezes arcam com os custos de transporte escolar. Além disso, o uso mais eficiente dos veículos reduzirá os gastos com manutenção, aumentando a vida útil da frota.

Outro aspecto econômico positivo está relacionado ao aumento da produtividade dos pais e responsáveis pelos alunos. Com rotas bem planejadas e horários predefinidos, haverá maior pontualidade nas atividades diárias, permitindo que os responsáveis possam se dedicar a outras atividades. Isso contribui para a economia local, com potencial para aumento da renda familiar e melhoria das condições de vida.

No âmbito social, a implementação de um sistema de roteamento de veículos para transporte escolar traz diversos benefícios para a comunidade. Em primeiro lugar, há um impacto direto na segurança dos estudantes. Rotas otimizadas reduzem a exposição dos alunos a riscos no trânsito, como acidentes e atropelamentos, uma vez que são projetadas para evitar áreas perigosas e minimizar o tempo de deslocamento.

Além disso, o transporte escolar eficiente contribui para a redução do absenteísmo e da evasão escolar. Ao garantir que os alunos cheguem às escolas de forma segura e pontual, aumentam-se as chances de participação regular nas aulas, melhorando a aprendizagem e o desempenho acadêmico. Isso tem impactos de longo prazo na formação educacional dos estudantes, abrindo portas para oportunidades futuras.

Por fim, a implementação de um sistema de roteamento de veículos para transporte escolar também traz benefícios ambientais significativos. A otimização das rotas reduzirá a quilometragem percorrida pelos veículos, resultando em menor consumo de combustível e, conseqüentemente, em redução das emissões de gases de efeito estufa. Isso contribui para a mitigação das mudanças climáticas e para a melhoria da qualidade do ar no município.

Além disso, ao reduzir a quantidade de veículos circulando pelas ruas, o sistema de roteamento contribui para diminuir o congestionamento do trânsito, resultando em uma redução

adicional nas emissões de poluentes. Menos congestionamentos também implicam em menos tempo de viagem, o que é benéfico para a qualidade de vida dos moradores locais, diminuindo o estresse relacionado ao tráfego.

É importante ressaltar que a implementação bem-sucedida de um sistema de roteamento de veículos requer planejamento cuidadoso, envolvimento da comunidade, colaboração entre os diferentes atores envolvidos e monitoramento constante. No entanto, os benefícios alcançados justificam os esforços, uma vez que contribuem para o desenvolvimento sustentável do município, melhorando a qualidade de vida dos cidadãos, especialmente dos estudantes e suas famílias.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo a elaboração de uma proposta de roteirização para o transporte público escolar da cidade de Araguaína, Tocantins. Como modo de gerar uma solução ótima para o problema de roteirização, foi empregada a modelagem matemática do PCV, o que garante um resultado exato e em tempo hábil para problemas relativamente pequenos, como era o caso da presente pesquisa. E assim concluir que os objetivos impostos ao longo da pesquisa foram alcançadas.

A justificativa principal da pesquisa é otimizar rotas que atualmente não satisfazem aos anseios da população e, assim, reduzir não apenas o tempo que o passageiro despende no transporte, mas também o custo de operação da rota pela redução do gasto com combustível, que impacta diretamente a redução da emissão de gases poluentes. A melhoria da eficiência nos serviços prestados no transporte público do município relaciona-se com o interesse por uma gestão pública mais eficiente e que contribua para a preservação do meio ambiente.

A principal contribuição da pesquisa é demonstrar a possibilidade de se aplicar modelos matemáticos na gestão pública e assim auxiliar na tomada de decisões no que diz respeito ao transporte público, contribuição essa que de forma eficaz permite reduzir custos logísticos com uma ferramenta de baixo custo, o que permite a pequenos e médios municípios melhorarem a qualidade e o custo dos serviços prestados às suas populações.

Para uma futura pesquisa poderá ser realizado um estudo mais preciso, com possibilidade de múltiplas rotas independentes. Além disso, é possível considerar também o número ótimo de veículos a serem utilizados diariamente, considerando a demanda em cada região por onde os veículos circulam, além de outras variáveis de decisão, como qualidade da infraestrutura viária e fluxo de veículos.

REFERÊNCIAS

- AMTT – Agência Municipal de Transporte e Trânsito. **Prefeitura municipal de Araguaína.** Disponível em: <http://werlix.com/AMTT/onibus.php>. Acesso em: 21 de mai. de 2023.
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos:** planejamento, organização e logística empresarial. Porto Alegre: Bookman, 5ª edição, 2006.
- CARDOSO, L. E. Z.; OLIVEIRA, P. P.; JOAQUIM JUNIOR, C. F. Redução de custos no transporte de madeira por meio de roteirização otimizada: um estudo de caso. **Revista Tekhne e Logos**, v. 7, n. 1, 2016.
- CORDEIRO, C. O.; SILVA, H. M. B. C.; CARVALHO, R. L.; DACOL, S.; MACHADO, W. V. A qualidade do sistema de transporte coletivo por ônibus em Manaus. **XXVI ENEGEP – Encontro Nacional de Engenharia de Produção.** Fortaleza: 2006.
- COSTA, R. A. **logística de transporte:** avaliando a qualidade do transporte público de passageiros em Araguaína –TO. Trabalho de Conclusão de Curso. UFT: 2016.
- CRESWELL, John W.; CRESCWELL, J. David. **Projeto de Pesquisa:** Métodos qualitativo, quantitativo e misto. 5ª Ed. Porto Alegre: Penso, 2021.
- CUNHA, C. B.; BONASSER, U.O.; ABRAHÃO, F. T. M. A. **Experimentos computacionais com heurísticas de melhorias para o problema do caixeiro viajante.** Trabalho apresentado no XVI Congresso da Anpet – Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes. e publicado nos anais do evento. Natal, 2002.
- FERREIRA, M. S. **Proposta de Roteirização para o Transporte Público Universitário de Araguaína, TO.** Trabalho de Conclusão de Curso. UFT: 2021.
- FRANCO, V. L. M. **Problema de Transporte:** Roteirização de Veículos Aplicada em uma Indústria no Ramo de Laticínios do Triângulo Mineiro. Trabalho de Conclusão de Curso. UFU: 2021.
- GOMES, J. A. C.; SANTOS, J. R. T.; BARBOSA, G. V. D.; CARVALHO, G. B. Aplicação de ferramenta computacional na otimização e mitigação de custos na roteirização da logística de transporte de cargas. *Brazilian Journal of Development*, v. 5, n. 7, pp. 7703-7716, 2019.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Último senso atualizado. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/araguaina/panorama>. Acesso em: 20 de mai. de 2023.
- KLOECKNER, N.V. R. **problema do caixeiro viajante (pcv)** aplicado a otimização de roteiros de veículos de transporte rodoviário de uma distribuidora de óleo lubrificante a granel em fortaleza e região metropolitana Revista de Engenharia da UNI7, Fortaleza, v. 1, n. 1, p. 137-185. 2017.
- KNEIB, E. C. **Transporte público coletivo e mobilidade:** a relevância da governança interfederativa v.25, n.3, p. 1123-1143, 2020.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 10 de jul. de 2023.

SAMPAIO, B. R.; LIMA NETO, O.; SAMPAIO, Y. Eficiência na Gestão do Transporte Público: lições para o planejamento institucional. **Planejamento e Políticas Públicas**, n. 29, p. 101-121, 2006.

SILVA, A. L; FERREIRA, J. C; STEINER, M. T. A. Abordagem de roteamento de veículos com procedimentos exatos e heurísticos sob uma óptica ambiental: um estudo de caso. **Exacta**, v. 17, n. 1, p. 171-187, 2019.

SILVA, T. B. **Roteirização de veículos**: estudo de caso em uma indústria alimentícia. Monografia apresentada à Universidade Federal de Campina Grande, 2019.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Matriz de distâncias entre as escolas selecionadas.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	0,0	3,7	5,1	4,9	5,5	6,5	6,5	5,9	4,7	5,8	1,8	3,3	5,2	3,7	3,0	2,1	4,7
2	3,7	0,0	2,4	4,1	6,5	4,7	7,5	4,1	4,9	6,8	2,8	2,1	4,9	1,1	3,2	2,4	2,9
3	5,1	2,4	0,0	3,3	5,6	3,1	6,8	2,5	4,3	7,1	3,3	2,0	4,1	1,6	3,2	3,2	2,0
4	4,9	4,1	3,3	0,0	2,7	3,9	3,8	2,5	1,4	4,6	3,0	1,8	0,9	3,0	1,9	3,9	1,8
5	5,5	6,5	5,6	2,7	0,0	6,0	2,7	4,7	1,6	1,8	3,6	4,1	2,6	5,2	3,2	4,7	4,0
6	6,5	4,7	3,1	3,9	6,0	0,0	6,5	1,6	5,2	7,5	5,0	3,3	3,8	4,1	4,0	5,4	2,6
7	6,5	7,5	6,8	3,8	2,7	6,5	0,0	6,8	4,0	1,1	5,1	6,4	5,0	7,4	5,1	6,3	6,8
8	5,9	4,1	2,5	2,5	4,7	1,6	6,8	0,0	3,7	6,5	4,3	2,7	2,2	3,5	3,1	4,8	1,3
9	4,7	4,9	4,3	1,4	1,6	5,2	4,0	3,7	0,0	3,3	3,0	2,6	1,8	3,7	1,5	3,9	2,7
10	5,8	6,8	7,1	4,6	1,8	7,5	1,1	6,5	3,3	0,0	4,3	5,6	4,1	6,5	4,2	5,5	6,7
11	1,8	2,8	3,3	3,0	3,6	5,0	5,1	4,3	3,0	4,3	0,0	1,5	3,9	2,1	1,3	1,5	2,9
12	3,3	2,1	2,0	1,8	4,1	3,3	6,4	2,7	2,6	5,6	1,5	0,0	2,5	1,2	1,2	2,2	1,6
13	5,2	4,9	4,1	0,9	2,6	3,8	5,0	2,2	1,8	4,1	3,9	2,5	0,0	3,8	2,4	4,4	2,7
14	3,7	1,1	1,6	3,0	5,2	4,1	7,4	3,5	3,7	6,5	2,1	1,2	3,8	0,0	2,3	1,9	2,3
15	3,0	3,2	3,2	1,9	3,2	4,0	5,1	3,1	1,5	4,2	1,3	1,2	2,4	2,3	0,0	2,5	1,7
16	2,1	2,4	3,2	3,9	4,7	5,4	6,3	4,8	3,9	5,5	1,5	2,2	4,4	1,9	2,5	0,0	3,7
17	4,7	2,9	2,0	1,8	4,0	2,6	6,8	1,3	2,7	6,7	2,9	1,6	2,7	2,3	1,7	3,7	0,0