



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

MARILENE DOS SANTOS FERREIRA

**PROPOSTA DE ROTEIRIZAÇÃO PARA O TRANSPORTE PÚBLICO
UNIVERSITÁRIO DE ARAGUAÍNA, TO**

**ARAGUAÍNA
2021**

MARILENE DOS SANTOS FERREIRA

**PROPOSTA DE ROTEIRIZAÇÃO PARA O TRANSPORTE PÚBLICO
UNIVERSITÁRIO DE ARAGUAÍNA, TO**

Trabalho de Conclusão de Curso, na modalidade de artigo, apresentado à Universidade Federal do Tocantins (UFT) - Campus Universitário de Araguaína para a obtenção do título de Tecnólogo em Logística, sob a orientação do Professor Dr. David Gabriel de Barros Franco.

**ARAGUAÍNA
2021**

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

F383p Ferreira, Marilene dos Santos.

Proposta de roteirização para o transporte público universitário de Araguaína, To. / Marilene dos Santos Ferreira. – Araguaína, TO, 2021.

18 f.

Artigo de Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Araguaína - Curso de Logística, 2021.

Orientador: David Gabriel de Barros Franco

1. Transporte público . 2. Roteirização de veículos . 3. Problema do caixeiro-viajante. 4. Pesquisa operacional. 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).

MARILENE DOS SANTOS FERREIRA

**PROPOSTA DE ROTEIRIZAÇÃO PARA O TRANSPORTE PÚBLICO
UNIVERSITÁRIO DE ARAGUAÍNA, TO**

Trabalho de Conclusão de Curso, na modalidade de artigo, apresentado à Universidade Federal do Tocantins (UFT), Campus Universitário de Araguaína para a obtenção título de Tecnólogo em Logística, e aprovado em sua forma final pelo orientador e pela Banca Examinadora.

Data da aprovação: 02 / 08 / 2021

Banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr. David Gabriel de Barros Franco
Universidade Federal do Tocantins (UFT)

Membro: Prof. Dr. Warton da Silva Souza
Universidade Federal do Tocantins (UFT)

Membro: Prof. Dr. José Francisco Mendanha
Universidade Federal do Tocantins (UFT)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
2. REFERENCIAL TEÓRICO	7
2.1 Problema de Roteirização de Veículos (PRV)	7
2.2 Problema do Caixeiro-Viajante (PCV).....	9
3. METODOLOGIA	11
3.1 Coleta dos dados	11
3.2 Modelagem matemática.....	13
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	13
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	15
REFERÊNCIAS.....	16
APÊNDICE	18

PROPOSTA DE ROTEIRIZAÇÃO PARA O TRANSPORTE PÚBLICO UNIVERSITÁRIO DE ARAGUAÍNA, TO

Marilene dos Santos Ferreira ¹
David Gabriel de Barros Franco ²

RESUMO

O transporte público coletivo facilita o deslocamento das pessoas e colabora para que a população possa realizar atividades cotidianas e contribui para que o trânsito tenha agilidade e rapidez. Entretanto, observa-se que os serviços ofertados nem sempre atendem as expectativas e necessidades dos passageiros. Tendo em vista essa baixa eficiência do transporte público, o presente trabalho busca modelar uma nova rota de ônibus voltada para o público universitário da cidade de Araguaína, Tocantins, contribuindo para a melhoria do serviço ofertado. Para tanto, recorreu-se ao Problema do Caixeiro-Viajante (PCV), que busca encontrar o circuito de menor custo que conecta vários pontos, passando uma única vez por cada ponto e retornando à origem. Limitando-se a oito Instituições de Ensino Superior (IES), foi possível construir uma rota ótima com 26,4 km e tempo ideal de percurso de aproximadamente 44 minutos. A efetiva implantação dessa rota proporcionará 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.

Palavras-chave: Transporte Público; Roteirização de Veículos; Problema do Caixeiro-Viajante.

ABSTRACT

Collective public transport facilitates the movement of people and helps the population to carry out daily activities and contributes to the agility and speed of traffic. However, it is observed that the services offered do not always meet the expectations and needs of passengers. In view of this low efficiency of public transport, this work seeks to model a new bus route aimed at university students in the city of Araguaína, Tocantins, contributing to the improvement of the service offered. For this purpose, the Traveling Salesman Problem (TSP) was used, which seeks to find the lowest cost circuit that connects several points, passing through each point only once and returning to the origin. By limiting itself to eight Higher Education Institutions (HEI), it was possible to build an optimal route with 26.4 km and an ideal journey time of approximately 44 minutes. The effective implementation of this route will provide students with an alternative to the existing fragmented routes, allowing for greater integration between the HEI and reduced travel time between them, in addition to connecting several central points in the city.

Keywords: Public Transportation; Vehicle Routing; Traveling Salesman Problem.

¹ Aluna do Curso de Logística da UFT. Contato: marilene.santos1@mail.uft.edu.br

² Doutor em Engenharia de Produção. Professor da UFT. Contato: david.franco@uft.edu.br

1 INTRODUÇÃO

O transporte público é considerado um facilitador no que se refere ao deslocamento de pessoas (FERNANDES *et al.*, 2019). Terra e Duarte (2014), consideram que o transporte coletivo pode ser definido como o meio de atingir fins como trabalho, escola, cinema, mercado etc. Araújo *et al.*, (2011), entendem que “o transporte coletivo é um serviço essencial nas cidades, pois democratiza a mobilidade e constitui um modo de transporte imprescindível para reduzir congestionamento”, colabora para que o trânsito tenha agilidade e rapidez, influenciando diretamente e indiretamente no cenário urbano.

Nesse sentido, a mobilidade urbana é fundamental para a qualidade de vida da população nas cidades brasileiras, porque a locomoção de passageiros acontece diariamente, com frequência modificando diretamente a dinâmica urbana (ANTUNES e SIMÕES, 2013). Além disso, a Política Nacional de Mobilidade Urbana, instituída pela Lei nº 12.587, de 03 de janeiro de 2012, elenca diretrizes adicionais a serem observadas nos processos de licitação como, por exemplo, a fixação de metas de qualidade e desempenho. Entre seus princípios, temos o da eficiência, eficácia e efetividade na prestação dos serviços de transporte urbano (BRASIL, 2012).

Entretanto, nota-se que a qualidade dos serviços ofertados aos usuários do transporte público coletivo nem sempre satisfazem as expectativas e necessidades dos passageiros. Nesse sentido a Associação Nacional de Transporte Público (ANTP), afirma que a falta de qualidade dos transportes públicos coletivos é evidenciada nas queixas dos passageiros, que são: desconforto, lotação e lentidão. Ainda segundo a entidade, a redução do tempo de viagem é um dos principais pontos a serem observados para a melhoria da qualidade nos transportes coletivos (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE PÚBLICOS, 2020). Nesse quesito, o tempo de viagem é considerado como o tempo empregado dentro dos veículos e está sujeito à velocidade média, às distâncias percorridas e às geometrias das linhas (TERRA e DUARTE, 2014).

Ballou (2007) considera que descobrir os melhores roteiros para os veículos, objetivando minimizar os custos e as distâncias, é um problema frequente da tomada de decisão dos gestores logísticos. Ainda segundo o autor, os problemas de roteirização e programação de veículos são férteis em variedade e imprevisíveis quanto ao número e aos tipos de restrições. Os problemas de fazer fretes de carga

incompleta são muito diferentes dos enfrentados quando se traça os roteiros de ônibus escolares.

Dentro desse contexto o presente trabalho busca responder à seguinte questão-problema: como reduzir o tempo de viagem e proporcionar qualidade, aumentando a eficiência e a eficácia no serviço de transporte público por ônibus ofertado à comunidade acadêmica que utiliza esse meio de transporte?

A questão-problema corresponde a um Problema do Caixeiro Viajante (PCV), que busca encontrar a melhor rota, ou circuito de menor custo, entre vários pontos (clientes), passando uma única vez por cada ponto e retornando à origem. Por sua vez, o PCV é um caso particular do Problema de Roteamento de Veículos (PRV) (LAPORTE e NOBERT, 1987; ARENALES *et al.*, 2007).

Assim, o objetivo do presente trabalho é propor uma rota otimizada para atender os usuários que utilizam o transporte público coletivo para o deslocamento às Instituições de Ensino Superior (IES) na cidade de Araguaína, Tocantins. Além disso, serem identificados a distância total do percurso e o tempo de viagem necessário para percorrer o roteiro completo. Essa rota é composta por oito localidades que devem ser atendidas pela linha de ônibus proposta.

Para a execução dos cálculos utiliza-se a planilha eletrônica *Microsoft Excel*®, acrescida do suplemento *Solver*®, que possibilita resolver, de maneira exata, problemas com até 200 variáveis de decisão e até 100 restrições.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Essa seção apresentará o conceito de roteirização de veículos e a formulação matemática para sua resolução exata.

2.1 Problema de Roteirização de Veículos (PRV)

O Problema de Roteirização de Veículos (PRV) busca determinar roteiros que consigam minimizar o custo total, considerando que toda rota realizada por um veículo comece e termine no depósito ou na base, levando em conta também que todo nó (local de entrega) receba somente uma visita, e que a demanda não ultrapasse a capacidade do veículo de entrega (MENCHIK, 2010; ENOMOTO e LIMA, 2007).

Os problemas de roteirização de veículos podem ser divididos em estáticos, de natureza determinística, ou dinâmicos. Nos problemas estáticos ou determinísticos, todos os dados, tais como localização e demanda dos clientes, são conhecidos antes da realização das rotas e os dados mantêm-se inalterados. Já nos problemas de roteirização dinâmicos, as informações que o tomador de decisão necessita lhe são apresentadas de modo dinâmico, isso é, à medida em que os fatos vão acontecendo (MENCHIK, 2010).

Quando se refere ao ambiente de distribuições, Cunha (1997) aponta que os problemas que ocorrem em situações reais de roteirização podem ser divididos em dois grupos: roteirização em meio urbano e roteirização intermunicipal. Na roteirização em meio urbano, os atendimentos e as base são localizadas na mesma área de um município e os percursos são realizados somente em vias urbanas. Por sua vez, a roteirização intermunicipal atende municípios distintos da base e entre si e os percursos do roteiro são predominantemente rodoviários.

O problema de roteirização de veículo é de categoria NP completo, ou seja, o tempo de processamento computacional necessário para sua resolução exata aumenta de modo exponencial com o tamanho do problema (número de clientes atendidos). Sendo assim, soluções aproximadas são admitidas para esse tipo de problema, porque são encontradas com rapidez e conformidades satisfatórias. Na maior parte dos casos, são usados para sua solução vários métodos heurísticos que, segundo Menchik (2010):

Referem-se a qualquer técnica que melhora a resolução do problema de roteirização no caso médio, e não de forma exata. Na área específica dos algoritmos de pesquisa, refere-se a uma função que fornece uma estimativa do custo da solução aproximado com menor custo computacional e, conseqüentemente, mais veloz que um método exato. Sendo que programação heurística consiste no uso de heurísticas para encontrar soluções suficientemente boas para problemas complexos (MENCHIK, 2010).

Segundo Ballou (2007) e Enomoto e Lima (2007), apesar de os problemas de roteirização de veículos possuírem variações, geralmente pode-se reduzi-los a um ponto de origem e um ponto de destino, pontos de origem e destino múltiplos e pontos de origem e destino coincidentes. Neste sentido, Ballou (2007) considera mais complexo construir a rota quando os pontos de origem e destino são os mesmos, do

que nas demais variações. Esse problema específico recebe o nome de Problema do Caixeiro-Viajante (PCV).

2.2 Problema do Caixeiro-Viajante (PCV)

Menchik (2007) considera que o PCV tem como objetivo encontrar um roteiro ou sequenciamento de cidades que minimize a distância total a ser percorrida pelo transportador, levando em conta que as cidades sejam visitadas somente uma vez e retornando, ao final, para o ponto de origem. Além disso, no PCV a demanda é considerada determinística.

Segundo Cunha *et al.* (2002), o PCV é considerado simétrico quando a distância entre dois nós (cidades) é igual, tanto em um sentido quanto no outro. Caso não seja esse o caso, o problema é denominado assimétrico. Ainda segundo o autor o problema do caixeiro-viajante tem sua origem creditada a William Rowan Hamilton, inventor de um jogo que tinha como objetivo fazer um roteiro utilizando vértices de um dodecaedro (vértices-cidades), sendo que o roteiro tinha início e fim no mesmo vértice (cidade) e as cidades eram visitadas uma única vez. Por isso este percurso é denominado de ciclo hamiltoniano (GOLDBARG e LUNA, 2005). Este é um dos problemas combinatórios mais conhecidos e pesquisados devido à sua aplicação em diversas áreas, tais como manufatura de circuitos integrados, programação da produção, telecomunicações e sequenciamento de DNA (ARENALES *et al.*, 2007).

O PCV pode ser formulado como um Problema de Programação Linear Inteira Binária (PPLIB) (LAPORTE e NOBERT, 1987; ARENALES *et al.*, 2007). Modelos do tipo PPLIB são deterministas, cujas variáveis são discretas e binárias, isto é, no modelo as variáveis de decisão são representadas por zeros e uns. A programação matemática é uma das ferramentas da Pesquisa Operacional (PO) que ajuda o tomador de decisão para que este não tome decisões baseado apenas no senso comum (BELFIORE e FÁVERO, 2012).

Seja o grafo $G = (Cidades, A)$, onde *Cidades* é o conjunto de n clientes e A o conjunto de arcos ligando duas cidades, isto é, $A = \{(i, j) | i \neq j\}$. A seguinte formulação matemática do PCV identificará quais arcos (i, j) serão, de fato, utilizados na rota ótima.

Parâmetro:

c_{ij} : custo de transporte do cliente i para o cliente j .

Variáveis de decisão:

x_{ij} : variável binária que assume valor 1 se o arco (i, j) for utilizado e 0, caso contrário.

f_{ij} : quantidade de fluxo enviada do cliente i para o cliente j .

Função Objetivo:

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

Restrições:

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

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

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

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

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

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

A Função Objetivo (1) minimiza o custo de transporte para o total de clientes. As restrições (2) garantem que de cada cliente i sai um único veículo, enquanto as restrições (3) garantem que a cada cliente j chegue um único veículo. As restrições

(4) garantem que o fluxo que chega em um cliente menos o fluxo que sai dele é igual a “1”, exceto para o armazém (ponto 1), enquanto as restrições (5) garantem que o fluxo em cada cliente é menor ou igual ao número de clientes menos “1”. As restrições (6) e (7) garantem variáveis de decisão binárias e inteiras, respectivamente.

3. METODOLOGIA

Esta é uma pesquisa de natureza aplicada e abordagem quantitativa, uma vez que informações podem ser medidas e os resultados são replicáveis. Quanto aos objetivos, esta pesquisa é exploratória, pois visa proporcionar maior familiaridade com o problema abordado, tornando-o explícito. Por fim, como método de pesquisa, utilizou-se a modelagem matemática de uma pequena parte do sistema de transporte público de Araguaína objetivando encontrar o cenário ótimo que satisfaça o objetivo da pesquisa (FLEURY *et al.*, 2018; GIL, 2018; MARCONI e LAKATOS, 2021).

A modelagem matemática é um processo que vem sendo amplamente utilizada nas mais diversas áreas de estudo, devido ao desenvolvimento de recursos computacionais cada vez mais capazes de avaliar cenários de crescente complexidade (PEREIRA e DANTAS, 2017). A modelagem assistida por computador fornece à administração e à gestão um laboratório experimental que possibilita o estudo do modelo de um sistema real, determinando como esse sistema pode reagir a mudanças de níveis de recursos ou às variações na demanda de clientes (FITZSIMMONS e FITZSIMMONS, 2010). As principais vantagens da modelagem são: descrever com maior precisão um sistema complexo real, estimar o desempenho de um sistema, realizar experimentos em ambiente controlado e de baixo custo e avaliar novas propostas de solução (PEREIRA e DANTAS, 2017).

3.1 Coleta dos dados

A cidade de Araguaína fica situada na região norte do Estado do Tocantins, com população estimada de 183.381 habitantes para 2020, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Com relação ao transporte público da cidade, a lei complementar 24, de 15 de maio de 2014, que trata da criação da Política Municipal de Transporte Público no Município de Araguaína, apresenta em seu Art. 2º, que o serviço de transporte público no município será ofertado

preferencialmente pelo município ou mediante concessão ou permissão. O Art. 3º determina que ambas as modalidades (concessão ou permissão) serão concedidas através de licitação pública (ARAGUAÍNA, 2014).

Em termos de ensino superior, Araguaína possui 10 IES que ofertam ensino na modalidade presencial e ou semipresencial. Dentre esse total foram selecionadas oito IES para a simulação, uma vez que as outras duas instituições estão fora do perímetro central da cidade, aumentando significativamente o tempo de deslocamento.

As distâncias entre as IES foram calculadas usando 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 (a tabela de distâncias está disponível no Apêndice). A Figura 1 apresenta o mapa das oito IES selecionadas.

Figura 1: Mapa das IES selecionadas.



Fonte: dados da pesquisa.

Um total de oito IES foram selecionadas, permitindo a resolução do PCV de forma exata, utilizando-se o modelo matemático apresentado na seção 2.2 (equação 1 a 7). A matriz de distâncias, portanto, possui um total de $n = 8^2 - 8 = 56$ distâncias, uma vez que a diagonal principal é composta por zero.

O fato de cada uma das 56 distâncias ter sido determinadas independentemente, no *Google Maps*, permitiu uma maior precisão do modelo, principalmente por se tratar de uma rota urbana. Na maioria dos grandes municípios existe uma alta porcentagem de ruas que não são de mão dupla, acarretando diferenças significativas de distâncias entre dois pontos em função do sentido da rota.

3.2 Modelagem matemática

Após a coleta dos dados, a matriz de distâncias foi inserida no *Microsoft Excel*® e o suplemento *Solver*® foi utilizado para a inserção do modelo matemático e a sua otimização através do método Dual Simplex e da estratégia *Branch & Bound* (ou Ramificar & Limitar, em português), uma vez que se trata de um PPLIB, com restrições inteiras e binárias (ARANALES *et al.*, 2007; BELFIORE e FÁVERO, 2012).

O método *Branch & Bound* começa encontrando a solução ótima para o “relaxamento” do problema, ignorando as restrições de inteiros. Se acontecer que nesta solução as variáveis de decisão com restrições inteiras já possuam valores inteiros, então nenhum trabalho adicional é necessário. Se uma ou mais variáveis inteiras têm soluções não integrais, o método *Branch & Bound* escolhe uma dessas variáveis e a “ramifica”, criando dois subproblemas onde o valor dessa variável é mais restrito. Por exemplo, se a variável inteira A_1 tem valor 3,45 na solução, então um subproblema terá a restrição adicional $A_1 \leq 3$ e o outro subproblema adicionará a restrição $A_1 \geq 4$. Esses subproblemas são resolvidos e o processo é repetido, “ramificando” conforme necessário em cada uma das variáveis de decisão inteira, até que uma solução seja encontrada onde todas as variáveis inteiras sejam, de fato, inteiras (ARANALES *et al.*, 2007; BELFIORE e FÁVERO, 2012).

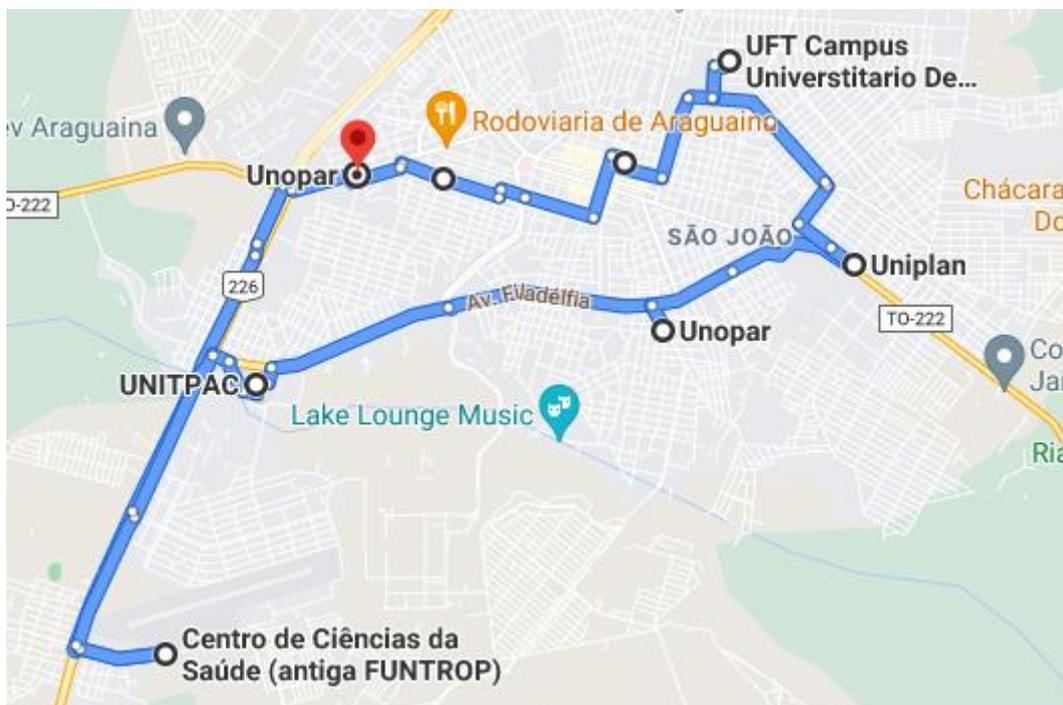
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

No *Microsoft Excel* é apresentado a solução ótima encontrada através do suplemento *Solver*. Inicialmente apenas a matriz de distância (c_{ij}) é inserida na planilha, além das restrições e variáveis de decisão, que são inseridas no próprio *Solver*. É disponibilizado também espaço para as matrizes x_{ij} , f_{ij} e l_{ij} , que corresponde a $(n - 1)x_{ij}$ no modelo matemático. Na sequência, utilizando o método

de solução *LP Simplex*, o *Solver* preenche os espaços disponibilizados com a solução ótima encontrada.

A solução ótima encontrada consiste no seguinte trajeto: Universidade do Norte do Paraná (UNOPAR), localizado na Av. Santos Dummont, 1389; Faculdade de Medicina da Universidade Federal do Tocantins (UFT), localizada na Av. Dionísio Farias, 838; Centro Universitário Tocantinense Presidente Antônio Carlos (UNITPAC), localizado na Av. Filadélfia, 568; UNOPAR, localizado na Av. Anhanguera, 368; Centro Universitário Planalto do Distrito Federal (UNIPLAN), localizado na Rua 2, setor Coimbra; UFT, Campus Cimba, localizado na Av. Paraguai esquina com a Rua Uxiranas; Faculdade Católica Dom Orione (CATÓLICA), localizado na Rua Santa Cruz, 577; Faculdade de Ciências do Tocantins (FACIT), localizado na Av. José de Brito, 481; retornando ao ponto inicial, ou seja, à UNOPAR da Av. Santos Dummont. A distância total dessa rota é de 26,4 km. A Figura 2 apresenta a rota ótima encontrada.

Figura 2: Mapa da rota ótima.



Fonte: dados da pesquisa.

A figura 2 apresenta uma rota otimizada que atende a todas as restrições impostas pelo PCV, ou seja, ela atende todos os pontos de embarque e desembarque e o veículo passa somente uma vez em cada IES, retornando posteriormente para o

ponto de partida. É importante notar que não importa qual o ponto de origem, uma vez que se tem um ciclo Hamiltoniano, ou seja, um caminho que permite passar por todos os vértices de um grafo G , não repetindo nenhum.

O tempo de viagem necessário para a realização do percurso é de aproximadamente 44 minutos, sem considerar as paradas para embarque e desembarque. É importante frisar que esse tempo não leva em consideração alguns fatores como, por exemplo, o clima, obras urbanas, acidentes, entre outros imprevistos. Entretanto, para o efeito de controle e gestão é interessante saber o tempo gasto, pois através desses dados é possível que os gestores conheçam as médias diárias de tempo de viagem e possam fazer o planejamento indicado para cada situação. Assim, conhecer de forma clara os custos que envolvem a atividade permitirão eventuais reduções nos mesmos (MENCHIK, 2010).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve por objetivo criar uma rota otimizada para atender aos usuários que utilizam o transporte público coletivo para o deslocamento às IES na cidade de Araguaína, Tocantins, e identificar a distância total e o tempo de viagem necessário para percorrer tal rota. Para atingir o objetivo da pesquisa foi utilizada modelagem matemática e o método *Branch & Bound* de uma pequena parte do sistema de transporte público da cidade. O trabalho teve o intuito de aumentar a eficiência e a eficácia do serviço de transporte público ofertado aos estudantes da região de Araguaína.

Limitando-se a oito IES, foi possível construir uma rota ótima com comprimento total de 26,4 km e tempo ideal de percurso de aproximadamente 44 minutos. A efetiva implantação dessa rota proporcionaria aos estudantes uma alternativa às rotas fragmentadas que existem atualmente no município, permitindo maior integração entre as IES e redução no tempo de deslocamento entre elas, além de conectar vários pontos centrais da cidade. Isso mostra a efetividade de se planejar objetivamente (e quantitativamente) visando à maior eficiência na prestação de um serviço público de qualidade.

O modelo do PCV apresentado possui algumas limitações, dentre elas o fato de não ter se levado em conta a capacidade dos veículos. Em futuras pesquisas se poderá realizar a modelagem levando em consideração o número de usuários ao

longo do dia e o número de veículos necessários em cada horário. Além disso, o modelo aqui proposto se limitou a conectar as IES entre si e, por isso, sugere-se também que em trabalhos futuros se considere a demanda em outros bairros onde se concentram a população de estudantes e demais usuários do transporte público.

REFERÊNCIAS

- ANTUNES, Eloisa Maieski; SIMÕES, Fernanda Antônio. Engenharia urbana aplicada: um estudo sobre a qualidade do transporte público em cidades médias. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, Curitiba, v. 5, n. 2, 2013. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/urbe/a/5Spp9sJfdH8L7vjhXnYVTKC/?lang=pt&format=pdf>>. Acesso em: 30 Mai. 2021.
- ARAGUAÍNA. Lei Complementar 024, de 15 de maio de 2014. Dispõe sobre a criação da política de transporte público, que define o inciso VII, do art. 200 da lei Orgânica do Município de Araguaína e dá outras providências. Lei municipal, **DOM n° 599, Ano III**, Araguaína, TO, 21 de maio de 2014.
- ARAÚJO, Marley Rosana Melo *et al.* Transporte público coletivo: discutindo acessibilidade, mobilidade e qualidade de vida. **Psicologia & Sociedade**, Recife, v. 23, n. 2, 2011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/psoc/v23n3/15.pdf>>. Acesso em: 30 Mai. 2021.
- ARENALES, Marcos *et al.* **Pesquisa Operacional: Para cursos de engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS – ANTP. **Como ter um transporte público eficiente, barato e com qualidade na sua cidade**. São Paulo: ANTP, 2020. Disponível em: (<<http://files.antp.org.br/2021/proposta-para-um-transporte-publico-eficiente-barato-e-com-qualidade.pdf>>. Acesso em: 11 jun. 2021.
- BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007. 616p.
- BELFIORE, Patrícia; FÁVERO, Luiz Paulo. **Pesquisa Operacional: Para Cursos de Administração, Contabilidade e Economia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. Diário oficial
- BRASIL. Lei nº 12.587, de 03 de janeiro de 2012. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Pode Executivo, Brasília, DF, de 04 de janeiro. 2012.
- CUNHA, Claudio Barbieri da. **Contribuição para o Problema de Roteirização de Veículos com Restrições Operacionais**. 1997. 222 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

- CUNHA, Cláudio Barbieri da; BONASSER, Ulisses de Oliveira; ABRAHÃO, Fernando Teixeira Mendes. Experimentos computacionais com heurísticas de melhorias para o problema do caixeiro viajante. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 2002, Natal, RN. **Anais**. Rio de Janeiro, RJ: ANPET, 2002.
- ENOMOTO, Leandro Minoru; LIMA, Renato da Silva. Análise da distribuição física e roteirização em um atacadista. **Produção**, São Paulo, v. 17, n. 1 p. 94-108. 2007. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/prod/a/TtZmPK3ZLNKRLNDPpv9dLtM>>. Acesso em: 06 Jun. 2021.
- FERNANDES, Karen Cristine et al. Além do itinerário: fatores de influência na qualidade do transporte público na cidade de Formiga Minas Gerais. In: III SEMINÁRIO DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 2019. Formiga. **Anais**. Formiga: IFMG, 2019.
- FITZSIMMONS, James A.; FITZSIMMONS, Mona J. **Administração de Serviços: Operações, Estratégia e Tecnologia da Informação**. 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.
- FLEURY, Afonso *et al.* **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.
- GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2018.
- GOLDBARG, Marco Cesar; LUNA, Henrique Pacca L. **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005. 518p.
- IBGE. **Cidades e Estados**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/to/araguaina.html>>. Acesso em: 30 Jul. 2021.
- LAPORTE, Gilbert; NOBERT, Yves. *Exact algorithms for the vehicle routing problem*. **Annals of Discrete Mathematics**, Amsterdam, v. 132, p. 147-184, 1987.
- MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Metodologia do trabalho científico: projetos de pesquisa, pesquisa bibliográfica, teses de doutorado, dissertações de mestrado, trabalhos de conclusão de curso**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2021.
- MENCHIK, Carlos R. **Gestão estratégica de transporte e distribuição**. Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2010.
- PEREIRA, Marina Meireles; DANTAS, Maria José Pereira. Aplicação da Modelagem e Simulação nos Sistemas de Filas M/M/S: Entendendo a Natureza da Simulação. **Produção Online**, Florianópolis, v. 17, n. 1, 2017.
- TERRA, Stela Xavier; DUARTE, Patrícia Costa. Estudo da qualidade no sistema de transporte coletivo urbano por ônibus na cidade de Pelotas, RS. **Revista de Engenharia da Faculdade Salesiana**, Macaé, v. 1, n. 1. 2015. Disponível em:

<http://www.fsma.edu.br/RESA/Edicao1/FSMA_RESA_2015_1_02.pdf>. Acesso em: 30 Mai. 2021.

APÊNDICE

Tabela 1: Matriz de distâncias c_{ij} utilizada na modelagem matemática.

c_{ij}	UNOPAR S	UNOPAR A	FACIT	ITPAC	CATÓLICA	UNIPLAN	UFT	UFT med.
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,0	4,3	1,1	2,6	3,1	5,3	4,6	6,7
2	4,1	0,0	3,4	4,9	2,3	2,4	3,3	8,6
3	1,1	3,2	0,0	3,4	2,3	4,2	3,8	7,4
4	3,5	4,3	3,7	0,0	5,5	6,8	7,2	5,7
5	2,8	2,1	2,3	4,7	0,0	2,7	1,8	8,9
6	5,2	2,4	4,6	6,2	2,9	0,0	3,0	10,5
7	4,2	3,4	3,8	6,5	2,0	3,0	0,0	10,6
8	6,3	8,8	7,4	4,6	9,5	10,8	11,2	0,0

Fonte: dados da pesquisa.