



## PROPOSTA DE OTIMIZADOR DE ROTAS ATRAVÉS DE UM APLICATIVO MOBILE

Otávio Martins Vasconcelos (IFMG - Congonhas) [otavio\\_vasconcelos@outlook.com](mailto:otavio_vasconcelos@outlook.com)  
Vinicius Martins Rodrigues Pereira (IFMG - Congonhas) [viniciusmartins6@hotmail.com](mailto:viniciusmartins6@hotmail.com)  
Luiza Bernardes Real (IFMG - Congonhas) [luiza.real@ifmg.edu.br](mailto:luiza.real@ifmg.edu.br)

### Resumo

Com o objetivo de auxiliar pessoas físicas e empresas que não tem acesso a soluções profissionais e que precisam sair de determinada origem, visitar um conjunto de endereços e retornar a origem, esse trabalho propõe o desenvolvimento de um otimizador de rotas na forma de um aplicativo mobile. Dado os locais a serem visitados, a solução proposta apresenta uma forma mais rápida, mais curta e mais barata de realizar essas visitas. O aplicativo foi desenvolvido a partir do framework React Native. A heurística 2-opt foi implementada em JavaScript para resolver o Problema do Caixeiro Viajante e então apresentar uma boa rota a ser seguida pelo usuário. Testes preliminares mostram o potencial do otimizador em achar boas rotas em um curto espaço de tempo.

**Palavras-Chaves:** (Problema do Caixeiro Viajante, Otimização, Otimizador de Rotas, Aplicativo Mobile)

### 1. Introdução

Todas as mudanças de comportamento e cultura de uma sociedade trazem consigo diversas quebras de paradigma e novos problemas a serem resolvidos que também são, por essência, oportunidades. Segundo Companys e McMullen (2007), as principais fontes de oportunidades são: mudanças na informação disponível para a sociedade sobre seus recursos materiais; mudanças nas interpretações ou preferências por meio de inovações culturais; ou mudanças no interpretador, no próprio ambiente em que ele está inserido.

Avaliando o setor do comércio, fica evidente uma mudança nas preferências dos clientes em relação a compras online graças ao aumento considerável do acesso à internet e à facilidade em comparar vários tipos de produtos de marcas diferentes e seus preços. Outra mudança grande no ambiente, e que fortaleceu ainda mais o e-commerce, foi a pandemia de Covid-19,



que praticamente obrigou os comerciantes a mudarem sua forma de vender. A solução amplamente utilizada foi a venda à distância, sem que o cliente estivesse presente fisicamente na hora da compra. De acordo com notícia publicada no Insper, no Brasil, entre 2019 e 2020, mais de 7 milhões de pessoas fizeram, pela primeira vez, compras pela internet (VIANNA, 2022).

Essa mudança na forma de consumir trouxe consigo diversos desafios para quem está comprando e para quem está vendendo. É fundamental para o sucesso desse negócio entregar a compra do cliente em curto prazo e sem danos, mantendo a qualidade, com o menor custo possível de transporte. Muitas vezes, um veículo parte de determinado ponto de estoque com mercadorias de diferentes clientes. É preciso decidir qual será a ordem de visita dos clientes, ou em outras palavras, qual será a ordem de entrega das mercadorias. A ordem escolhida impactará no tempo, na distância total percorrida e conseqüentemente no custo da rota.

Entendendo esse cenário, fica cada vez mais evidente a necessidade de sistemas logísticos que tracem rotas que diminuam os custos e também aumentem a qualidade do serviço. Grandes empresas sempre tiveram essa preocupação. Porém, essa necessidade se expandiu também para pequenos comerciantes, pequenos produtores rurais, representantes comerciais, entregadores de delivery autônomos e até pessoas físicas que precisam se locomover em vários endereços durante o dia.

Para realizar essa otimização de rotas, o Problema do Caixeiro Viajante (PCV) se apresenta como um dos principais meios explorados tanto no meio acadêmico quanto nas indústrias. O PCV é um dos mais famosos problemas de otimização e vem sendo cada vez mais estudado desde sua descoberta devido a sua grande aplicabilidade. De acordo com Helsgaun (2000), o PCV tem como objetivo indicar a forma ótima de sair de um local, visitar um conjunto de cidades e depois retornar ao local de origem, passando uma única vez por cada ponto, de forma a minimizar a distância percorrida e conseqüentemente os custos e o tempo gasto.

O PCV é um problema considerado NP- difícil. Isso significa que o esforço computacional necessário para a sua resolução cresce exponencialmente com o tamanho do problema (CUNHA, 2000). Dessa forma, existe um grande esforço acadêmico para criar formas que consigam resolver esse problema de forma mais rápida e com soluções melhores. Segundo Helsgaun (2000), não há como achar a solução ótima sem o uso da força bruta, ou algum algoritmo exato, que normalmente é de complexa programação e exagerado tempo de execução. Diante disso, é comum utilizar heurísticas para obter uma solução aproximada e conseqüentemente, mais rápida.

Apesar do reconhecido potencial de ganho que a otimização de rotas pode trazer, ainda falta uma plataforma de fácil acesso para que a população realize uma otimização da ordem de visita dos locais de entrega, classificando de maneira fácil e prática qual seria a melhor sequência para que as entregas sejam realizadas. Os aplicativos tradicionais de GPS conseguem calcular o caminho de menor tempo, dado um endereço de origem, um endereço de destino e um conjunto de endereços intermediários. No entanto, esses aplicativos não definem a ordem de visita dos endereços a serem visitados, assumem que essa ordem é conhecida a priori pelo usuário.

Nesse contexto, o objetivo desta pesquisa é desenvolver um aplicativo totalmente gratuito que otimize a ordem de visita de um conjunto de endereços com base no PCV, com uma interface simples que receba o ponto inicial e os endereços a serem visitados. Com isso, espera-se atender à necessidade principalmente de pequenos empreendedores que não tem acesso a soluções profissionais.

Este artigo está dividido da seguinte forma: a metodologia é descrita na segunda seção; a terceira seção apresenta a análise de mercado realizada; a quarta seção descreve o aplicativo desenvolvido; na quinta seção, discute-se alguns resultados preliminares; e por fim, a última seção conclui esse trabalho.

## **2. Metodologia**

Ao avaliar as consequências do crescimento do e-commerce para microempreendedores, observou-se uma dificuldade principalmente em pequenos estabelecimentos de montar uma logística de entrega de produtos. Devido ao aumento de localidades que precisam ser visitadas, fica cada vez mais complicado analisar manualmente qual seria a sequência ideal para conseguir entregar todas as mercadorias ao menor custo possível.

Então, primeiramente, uma análise de mercado foi feita com intuito de mapear os principais aplicativos otimizadores de rotas do mercado, entendendo suas forças e fraquezas, para buscar oportunidades que esses concorrentes não conseguem aproveitar com seus atuais produtos.

Com a identificação das limitações das soluções existentes no mercado, desenvolveu-se um aplicativo mobile gratuito e simples de ser usado e que fornece a otimização de rotas em tempo hábil e com uma interface didática para trazer praticidade ao usuário. Outro ponto importante para a decisão de se criar um aplicativo é que o uso de celulares tem crescido

bastante no Brasil. Segundo a pesquisa realizada pelas empresas MobileTime e Opinion Box, 98% dos brasileiros que possuem celular já instalaram algum aplicativo (Panorama, 2022).

Para o desenvolvimento desse aplicativo, foi escolhido o framework React Native. A pesquisa de Brito et al (2018) comparou opções para desenvolvimento de aplicativo entre elas React Native, Ionic, NativeScript, Android nativo e IOS nativo. Foi definido que a aprendizagem, qualidade da documentação, tempo de resposta e velocidade do React Native superava todos e por isso era a melhor opção de framework.

Para cálculo de distância entre os locais a serem visitados, utilizou-se a API do Google.

Para resolver o PCV e de fato otimizar a rota existem várias formas na literatura, sendo os modelos matemáticos, heurísticos e meta heurísticos os mais utilizados. Segundo Chaves (2003), métodos heurísticos são aqueles que procuram encontrar soluções próximas da otimalidade em um tempo computacional razoável, sem, no entanto, conseguir definir se esta é a solução ótima, nem quão próxima ela está da otimalidade. Para o aplicativo, foi definido que uma heurística seria desenvolvida na linguagem JavaScript, compatível com o React Native para facilitar a implementação, e dentre as várias desenvolvidas na literatura a 2-opt foi a escolhida.

### 3. Análise de mercado

Os principais aplicativos presentes no mercado que são capazes de definir a melhor ordem de visita de um conjunto de endereço são: DeliForce, Mapbox e Roadwarrior. Suas principais forças e fraquezas mapeadas estão listadas no Quadro 1.

Quadro 1: Mapeamento de Forças e Fraquezas dos concorrentes

Forças e Fraquezas de Aplicativos Consolidados no Mercado		
Aplicativo	Principais Forças	Fraquezas
Deliforce	Rastreamento em tempo real do entregador;	Restrições de acesso gratuito
	Análise de relatórios	Consome muita memória
Mapbox	Possui mapas com tráfego em tempo real	Restrições de acesso gratuito
	Navegação e pesquisa de endereços por meio de API e kit de desenvolvimento de software	Alto custo
Roadwarrior	Possibilidade de otimização de rotas com várias paradas	Restrições de acesso gratuito
	Utilização flexível, inclusive acesso do aplicativo, pela web	Alto custo

A análise dos concorrentes deixou evidente que as soluções do mercado já apresentam grau avançado de maturidade em relação ao desenvolvimento técnico da inteligência que otimiza as rotas, da parte visual e experiência do usuário e de serviços complementares. Todos possuem sistemas bem elaborados, com customização dos mapas, atendimento ao cliente, otimização com rotas em várias paradas. Porém, apresentam grande restrição de acessos gratuitos, limitando o número de rotas otimizadas por telefone, número máximo de pontos de parada e um custo que pode se tornar relativamente alto dependendo da quantidade do uso.

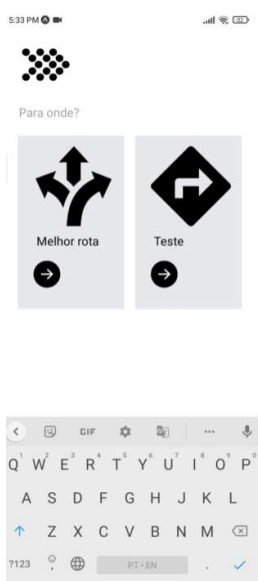
Nesse contexto, o desenvolvimento de um otimizador de rotas simples e gratuito no formato de um aplicativo mobile foi desenvolvido. Maiores detalhes da solução proposta estão apresentados a seguir.

#### 4. Solução proposta

Conforme mencionado anteriormente, o aplicativo web foi desenvolvido para suprir a necessidade de otimização de rotas de uma parcela do mercado que precisa usar o serviço de forma esporádica e/ou não tem possibilidade de ter custos associados a esse serviço.

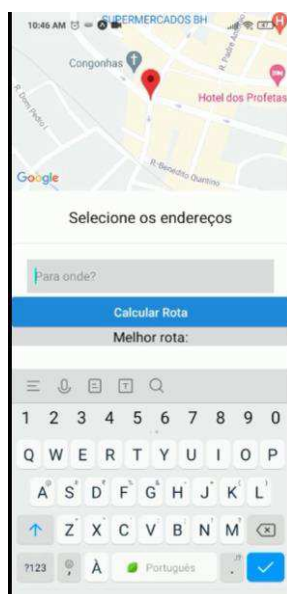
As Figuras 1, 2 e 3 ilustram o aplicativo desenvolvido. Na tela inicial do aplicativo o usuário deve inserir o endereço de origem do entregador, no espaço “Para onde?”. Em seguida, deve clicar em “Melhor rota”.

Figura 1: Tela Inicial



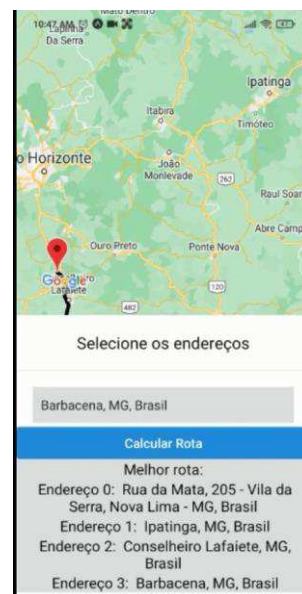
Fonte: Os Autores

Figura 2: Tela para inserção dos endereços



Fonte: Os Autores

Figura 3: Tela com a rota proposta



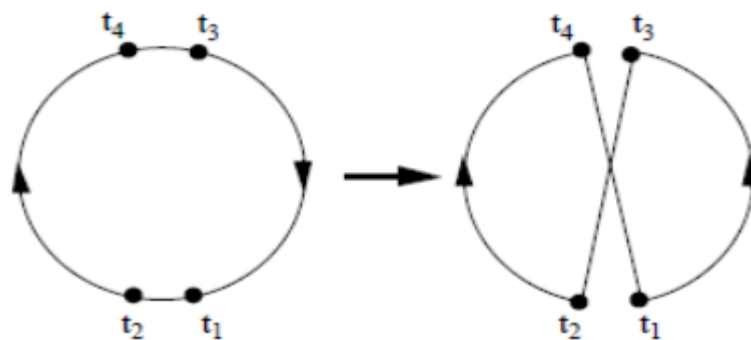
Fonte: Os Autores

Então, o usuário é direcionado para uma segunda tela como a ilustrada na Figura 2. Ele deve digitar cada um dos endereços a serem visitados na aba “Para onde?”. Esses endereços são armazenados em uma matriz de origem x destino. Essa estrutura é utilizada para consumir a API do Google para retornar a distância entre todos os endereços, que ficam armazenadas em outra matriz e são as únicas informações de entrada para calcular a rota ótima.

Depois que todos os endereços foram digitados, clica-se em “Calcular Rota”. Nesse momento, a heurística 2-opt implementada é acionada. Segundo Chaves (2005), a heurística 2-opt foi proposta primeiramente por Croes (1958) sendo baseada em trocas entre pares de arestas de grafos que representem soluções para problemas de permutação, mas é atribuída a LIN (1965) a apresentação do método como 2-opt.

O algoritmo 2-opt consiste em remover dois arcos não adjacentes da solução analisada e depois ligar o ponto de origem do primeiro arco com a origem do segundo e o destino do primeiro arco com o destino do segundo, obtendo uma rota com o sentido inverso. Esse processo deve ser realizado até que não haja nenhuma rota com menor custo. A Figura 4 ilustra o funcionamento da heurística.

Figura 4: Movimento 2-opt



Fonte: Helsgaun (2000)

Depois de obter a resposta da heurística o aplicativo retorna na tela para o usuário a melhor rota encontrada, indicando a ordem em que os destinos devem ser visitados, como ilustrado na Figura 3. Nesse exemplo, a sugestão é seguir o seguinte caminho: Nova Lima – Ipatinga – Conselheiro Lafaiete – Barbacena – Nova Lima (retorno).

Todo o código desenvolvido para criar essa solução pode ser encontrado em [https://github.com/otaviomvasc/App\\_TSP](https://github.com/otaviomvasc/App_TSP).

## 5. Resultados e discussões

Para assegurar a qualidade do aplicativo é fundamental garantir que boas rotas possam ser encontradas em tempo hábil. Esse trade-off entre tempo e qualidade da solução é um dos grandes gargalos do PCV e por isso o desenvolvimento de heurísticas e metaheurísticas para solucioná-lo ainda é tão estudado na literatura.

Com o intuito de validar a heurística implementada, quatro instâncias da biblioteca TSPLIB (TSPLIB, 2022) foram resolvidas. Para cada instância dessa biblioteca, tem-se a matriz de distâncias, a rota ótima e a menor distância associada a essa rota. A Figura 5 apresenta: na primeira coluna, o nome de cada instância; na segunda coluna, o número de pontos a serem visitados; na terceira coluna, o GAP da solução encontrada pela heurística aqui implementada para a solução ótima ( $(\text{Solução\_encontrada\_pela\_heurística} / \text{Solução\_ótima}) / \text{Solução\_ótima}$ ); e na quarta coluna, o tempo necessário para que a heurística retorne o resultado.

Figura 5 – Instâncias Comparadas

Instância	Dimensão	GAP (%)	Tempo (s)
br17	17	0,00	0,10
Bays29	29	3,22	1,50
wiss42	42	8,96	4,11
ft70	70	18,00	16,50

Fonte: Os Autores

O maior tempo para obter a solução foi para a instância ft70, que demorou aproximadamente 16,49 segundos com GAP de 18%. Os resultados indicam que a heurística atende a necessidade do público-alvo da solução, com resultados com alta proximidade do método exato e baixo tempo de solução.

## 6. Conclusão

Com o intuito de atender principalmente pequenos empreendedores que não têm acesso a soluções profissionais e necessitam sair de um ponto de estoque, entregar um conjunto de mercadorias em um conjunto de endereços diferentes e depois retornar a esse ponto de estoque, nesse trabalho, foi desenvolvido um otimizador de rotas. A solução mobile proposta foi elaborada com o framework React Native. A heurística 2-opt foi implementada para resolver o PCV e então apresentar uma rota curta e rápida ao usuário. Testes preliminares mostraram que o otimizador é capaz de achar boas rotas em um curto espaço de tempo.



Para trabalhos futuros é indicado fazer testes controlados com usuários que forneçam feedback da ferramenta, trazendo pontos de melhoria em todo o processo de inserção de endereços, formato da resposta e interface como um todo. Com esses feedbacks e melhorias mapeadas a partir do uso real fica viável a divulgação da ferramenta numa loja de aplicativos para consumo amplo da solução. Também é indicado testar outras heurísticas para resolver o PCV para melhorar tanto o GAP quanto o tempo de resposta do aplicativo.

## 7. Referências

- BRITO, H.; GOMES, A.; BERNARDINO, A. S. e. J. Javascript in mobile applications: React native vs ionic vs nativescript vs native development. In: 2018 13th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI). [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–6. ISSN null.
- CHAVES, Antônio Augusto. MODELAGENS EXATA E HEURÍSTICA PARA RESOLUÇÃO DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE COM COLETA DE PRÊMIOS. 2003. 49 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2003. Disponível em: <http://www.decom.ufop.br/prof/marcone/Orientacoes/PCVCP-Exato-VNS.pdf> . Acesso em: 26 abr. 2022.
- CHAVES, Antônio Augusto. HEURISTICAS HIBRIDAS COM BUSCA ATRAVES DE AGRUPAMENTOS PARA O PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE COM COLETA DE PREMIO. 2005. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Computação Aplicada, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005. Disponível em: <http://www.lac.inpe.br/~lorena/antonio/proposta-diss-chaves.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2021.
- COMPANYS, Y.; McMULLEN, J. S. Strategic Entrepreneurs at Work: The Nature, Discovery, and Exploitation of Entrepreneurial Opportunities. *Small Business Economics*, v. 28, n. 4, p. 273-283, 2007.
- CUNHA, C. B. Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais. *Revista Transportes da ANPET*, v. 8, n. 2, p.51-74, 2000.
- HELSGAUN, Keld. An Effective Implementation of the Lin-Kernighan Traveling Salesman Heuristic. *European Journal of Operational Research* 126 (1), p. 106-130, Elsevier, 2000.
- Panorama Mobile Time/Opinion Box - Uso de Apps no Brasil - Junho de 2022. Disponível em: <https://www.mobiletime.com.br/pesquisas/>. Acesso em 03 fev 2023
- TSPLIB. Disponível em: <http://elib.zib.de/pub/mp-testdata/tsp/tsplib/tsplib.html>. Acesso em: 02 abr. 2022.
- VIANNA, Bernardo. O Brasil está entre os países com maior crescimento de vendas online. INSPER, 2022. Disponível em: <https://www.insper.edu.br/noticias/o-brasil-esta-entre-os-paises-com-maior-crescimento-de-vendas-online/>. Acesso em: 03 de fev. de 2023.