



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

GUILHERME FERNANDES XAVIER DA SILVA

**ALGORITMOS DE BUSCA DE CAMINHOS NA CRIAÇÃO DE DESIGN DE
MALHA FERROVIÁRIA EM RECIFE**

Recife

2025

GUILHERME FERNANDES XAVIER DA SILVA

**ALGORITMOS DE BUSCA DE CAMINHOS NA CRIAÇÃO DE DESIGN DE
MALHA FERROVIÁRIA EM RECIFE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Ciência da Computação.

Orientador: Ricardo Massa Ferreira Lima

Recife
2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Silva, Guilherme Fernandes Xavier da.

Algoritmos de busca de caminhos na criação de design de malha ferroviária em Recife / Guilherme Fernandes Xavier da Silva. - Recife, 2025.
13 p : il.

Orientador(a): Ricardo Massa Ferreira Lima

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Informática, Ciências da Computação - Bacharelado, 2025.

Inclui referências.

1. Algoritmos. 2. Otimização de caminhos. 3. Análise de dados. 4. Malha ferroviária. I. Lima, Ricardo Massa Ferreira. (Orientação). II. Título.

000 CDD (22.ed.)

GUILHERME FERNANDES XAVIER DA SILVA

**ALGORITMOS DE BUSCA DE CAMINHOS NA CRIAÇÃO DE DESIGN DE
MALHA FERROVIÁRIA EM RECIFE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Ciência da Computação.

Aprovado em: 14/05/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ricardo Massa Ferreira Lima (Orientador)

Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Kiev Santos da Gama (Examinador Interno)

Universidade Federal de Pernambuco

Algoritmos De Busca De Caminhos Na Criação De Design De Malha Ferroviária Em Recife

Algoritmos e estrutura de dados

Guilherme F. X. da Silva¹

¹Centro de Informática
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) – Recife, PE – Brazil

gfxs@cin.ufpe.br

Abstract. *This paper presents a new design to the Recife metro network using Dijkstra's algorithm, considering how much people from each area will be impacted. The final result is an optimal solution considering data from the use of public transportation of the metropolitan area from Recife, and it's compared to the current metro network.*

Resumo. *Este artigo apresenta um novo design para a malha ferroviária de Recife usando o algoritmo de Dijkstra levando em consideração a população que será impactada por cada bairro. O resultado final é uma solução ótima levando em consideração os dados de uso do transporte público da região metropolitana de Recife, e é feita uma comparação com a malha atual.*

1. Introdução

Meios de transporte sobre trilhos, sejam trens, metrô ou VLTs (veículo leve sobre trilhos), compõem formas de transporte público amplamente usadas pelo mundo. Eles diminuem o trânsito, são melhores para o meio ambiente e melhoram a mobilidade da cidade [Laporte e Pascoal 2015]. Em Recife, a malha ferroviária transportou 94,4 milhões de pessoas em 2019 [CBTU 2020] e possui mais de 70 km de extensão [CBTU 2022], sendo uma das maiores do país.

Desde o início de sua implementação, o sistema ficou preso à infraestrutura ferroviária existente [CBTU 1984, CBTU 1995], sem considerar adequadamente as necessidades da população. Ao longo dos anos, a expansão da malha ferroviária buscou melhor atender às demandas do povo, com a estação rodoviária, por exemplo, mas ainda persiste uma lacuna significativa na cobertura, especialmente nas cidades de Paulista, Olinda, assim como na zona Norte de Recife. A Figura 1 mostra a malha metroviária atual de Recife. Um ponto importante é que as principais linhas — Centro e Sul —, que conectam Recife a Jaboatão e Recife ao Cabo de Santo Agostinho, respectivamente, já faziam parte da malha ferroviária anterior, apresentada na Figura 2.

Como alternativa às linhas ferroviárias existentes, propõe-se o design de uma nova rede baseada na aplicação do algoritmo de Dijkstra e do Algoritmo 4 [Laporte e Pascoal 2015]. Esses algoritmos foram escolhidos por sua eficiência na determinação de rotas ótimas em redes de transporte, levando em conta os padrões de uso do transporte público em cada bairro da Região Metropolitana do Recife. Além disso, o Algoritmo 4 foi selecionado por sua versatilidade, permitindo sua aplicação em qualquer plano cartesiano com dados, o que possibilita sua adaptação a diferentes contextos



Figura 1. Malha metroviária de Recife

urbanos. A intenção não é substituir a infraestrutura atual, mas sim sugerir um modelo alternativo que possa complementar e expandir a cobertura ferroviária, atendendo melhor às regiões ainda desassistidas.

Embora a implementação de uma proposta desse tipo dependa de decisões do poder público, este estudo busca fornecer uma base técnica e quantitativa para embasar futuras discussões sobre mobilidade urbana. Além disso, exploram-se outras abordagens para a otimização da rede ferroviária, como outros algoritmos de menor caminho, destacando as razões para a escolha da metodologia adotada.

A nova malha seguirá o formato cartwheel, considerado um dos mais eficientes para redes metroviárias [Laporte e Pascoal 2015]. Esse modelo, ilustrado na Figura 3, é composto por cinco estações: uma central, T5, e quatro periféricas, T1 a T4. As estações periféricas estão conectadas tanto à estação central quanto às suas vizinhas mais próximas, formando uma estrutura otimizada para distribuição de fluxo. O trajeto de cada linha dentro dessa rede será definido pelo algoritmo de Dijkstra.

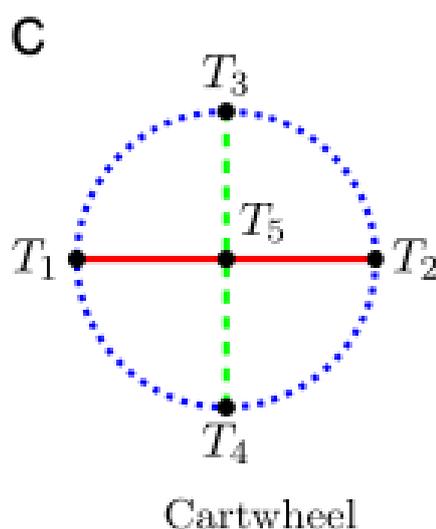


Figura 3. Formato cartwheel

2. Algoritmos usados

Para a criação da linha de metrô, utilizou-se uma variação do algoritmo 4 [Laporte e Pascoal 2015], que requer um plano cartesiano e cinco conjuntos de pontos (T1, T2, T3, T4 e T5), correspondentes às zonas de transferência entre as linhas do metrô. Uma modificação realizada no algoritmo foi a introdução de um cálculo para identificar, dentro de cada zona de transferência, o ponto onde o uso do metrô seria maximizado. Esse ponto, denominado MPi, representa o local ideal para a construção da estação inicial em cada zona.

3. Dados utilizados na modelagem da rede

Para a criação da linha de metrô, foram utilizados dados da pesquisa origem-destino de 2018, realizada pelo Instituto Pelópidas Silveira e pela Grande Recife Consórcio de Transporte [SILVEIRA e METROPOLITANO 2018], dados que também foram empregados no

Plano de Mobilidade da cidade do Recife. A pesquisa abrangeu 256 zonas em Recife, que correspondem a subdivisões dos bairros da região metropolitana. Ela foi guiada por três premissas principais:

Premissa 1: As pesquisas serão realizadas nos destinos das viagens, diferentemente das entrevistas domiciliares, que focam nas origens das viagens.

Premissa 2: As pesquisas irão priorizar os motivos de viagem mais relevantes, como trabalho, educação, compras, serviços e consultas médicas.

Premissa 3: As pesquisas serão desenhadas para abranger diversas classes socioeconômicas, utilizando a análise de inserção social dos pontos de coleta de dados. [SILVEIRA e METROPOLITANO 2018]

Os dados coletados na pesquisa foram organizados em uma planilha com o seguinte formato:

- Código
- Frequência aula
- Frequência trabalho
- Origem trabalho
- Origem aula
- Você estuda?
- Você trabalha?
- Zona Residência
- Zona Educação
- Zona Trabalho

Para o presente trabalho, o foco é contar quantas vezes as pessoas partiram de uma determinada zona, já que o objetivo é entender o impacto do metrô. Não foi considerada a chegada no destino, pois se uma pessoa chega, necessariamente precisaria sair em algum momento. Para calcular a frequência de partidas por zona, foi utilizado um código em python [SILVA 2024]. O resultado foi uma planilha com uma coluna representando uma zona e outra coluna sendo a frequência em que as pessoas saíram dela.

4. Integração dos dados ao modelo computacional

Para que o código pudesse trabalhar com os dados, foi necessário converter o mapa de Recife em um formato manipulável, neste caso, um plano cartesiano. Utilizou-se o mapa da região metropolitana e criaram-se pontos espaçados por quatrocentos metros, uma distância considerada adequada para as estações [Laporte e Pascoal 2015]. Cada ponto foi associado a uma das zonas previamente definidas, e, ao dividir a população de cada zona pelo número de pontos, obteve-se a população impactada por cada um deles.

Também foi decidido que as zonas de transferência (T1, T2, T3, T4 e T5) corresponderiam a zonas específicas da região metropolitana, ou seja, cinco das duzentas e cinquenta e seis zonas mapeadas. Mas como selecionar essas zonas? A partir dos dados disponíveis, foi possível identificar aquelas que impactariam o maior número de pessoas. A Figura 4 foi criada com base na planilha apresentada na Seção 3, e foi utilizada para determinar as zonas de transferência.

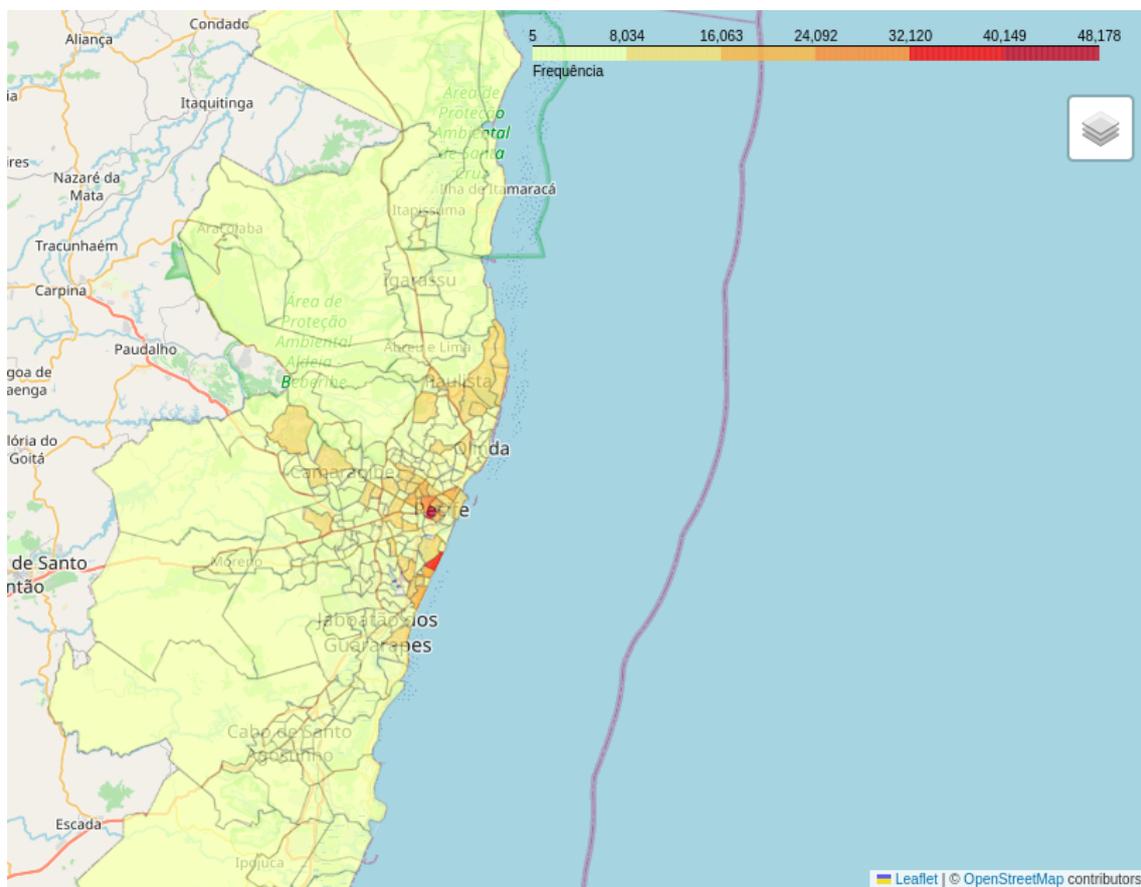


Figura 4. Mapa de Recife com frequência de deslocamento

As zonas escolhidas para pontos de transferência foram: 173, 53, 24, 215 e 59, correspondendo a T1, T2, T3, T4 e T5, respectivamente. Essas zonas foram selecionadas por se distribuírem de maneira equilibrada pela região metropolitana e por apresentarem uma alta demanda de deslocamento. Para cada zona, foi selecionado um ponto específico que representaria a estação, e a partir daí foi aplicado o algoritmo de Dijkstra para calcular o melhor caminho, priorizando o uso por um maior número de pessoas. O código referente ao design da rede ferroviária de Recife está disponível no GitHub [SILVA 2024].

O algoritmo utiliza o método de Dijkstra para determinar os melhores caminhos entre zonas de transferência (estações). Para isso, percorre todos os pares de zonas e, em cada caso, calcula o caminho mais curto, levando em consideração a cobertura populacional — ou seja, quantas pessoas seriam impactadas por aquele trajeto. Quando um caminho viável é encontrado, a cobertura das arestas é somada e o resultado é armazenado; caso contrário, registra-se que não há conexão entre as zonas. Ao final, o algoritmo retorna os melhores caminhos e suas respectivas coberturas, priorizando aqueles que atendem às zonas com maior demanda populacional.

A malha foi gerada em uma máquina com processador Intel Core i5-7200U (4 núcleos), 20 GB de memória RAM e sistema operacional Manjaro Linux, levando 33,28 segundos para ser construída. A nova malha está representada em laranja na Figura 5.

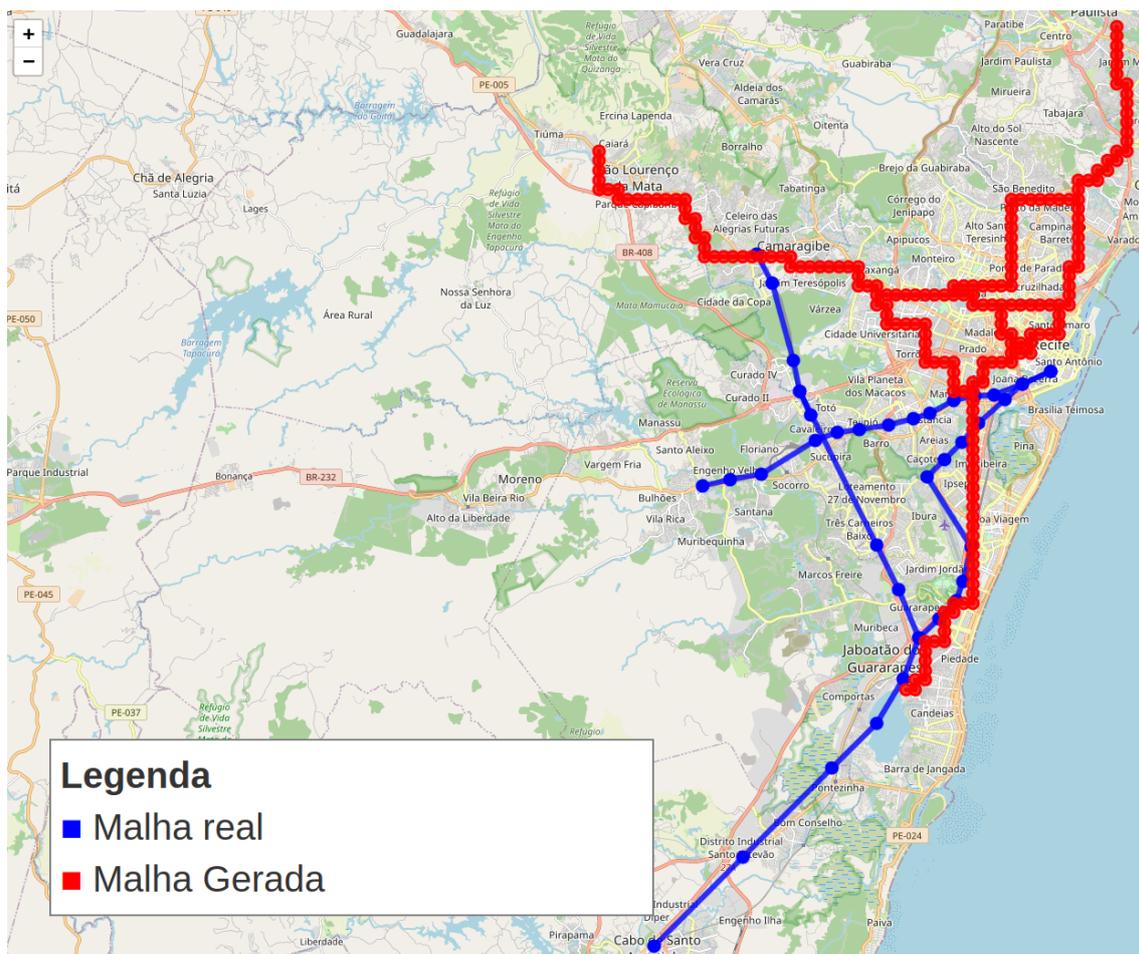


Figura 5. Malha ferroviária gerada

5. Análise Crítica da Proposta

A estratégia adotada para o metrô, denominada *Cartwheel*, recebe esse nome por sua semelhança com uma roda de carroça. Seu formato resulta da conexão entre a estação central e as estações periféricas, conforme ilustrado na Figura 3. No entanto, embora esse padrão seja parcialmente observável nos resultados, ele se manifesta predominantemente na região central, sugerindo um tráfego mais intenso nessa área. Nesse contexto, a estrutura resultante assemelha-se mais a uma hélice de três pás do que a uma roda de carroça, divergindo do formato esperado inicial.

Além disso, nota-se que a zona de transferência situada a leste da estação central, identificada como T2 na Figura 3, encontra-se significativamente mais próxima da estação central em comparação com as demais zonas de transferência. Essa proximidade resultou em uma configuração na qual parte da rede metroviária nessa região apresenta uma concentração superior ao ideal. Esse aspecto sugere que, para uma cidade como Recife, onde o centro urbano está deslocado em direção ao litoral em vez de estar centralizado geograficamente, T2 poderia ser realocado para uma região distinta, como Jaboatão Centro. Essa modificação resultaria em uma linha semelhante à Linha Centro da malha real, porém sem o Ramal Camaragibe, o que poderia favorecer uma distribuição mais equilibrada da malha metroviária.

A escolha do modelo proposto foi guiada pela ideia de usar um método sistemático e replicável para o planejamento da malha ferroviária. Não foi realizada uma análise detalhada sobre como projetos metroviários são desenvolvidos no mundo real, nem se algoritmos como os utilizados neste trabalho são comumente empregados nesse contexto. No entanto, para os objetivos desta pesquisa, a aplicação do Algoritmo 4 aliado à Dijkstra mostrou-se adequada, pois permitiu a construção de uma rede otimizada com base em dados estruturados, sem exigir um estudo aprofundado de abordagens tradicionais de planejamento urbano. Dessa forma, a escolha metodológica baseou-se na adequação da solução ao problema proposto, sem a necessidade de validar sua aderência a práticas convencionais de engenharia de transportes.

6. Comparação com a malha atual

Como ilustrado na Figura 5, a malha gerada apresenta uma distribuição mais abrangente pela cidade, cobrindo a porção norte da Região Metropolitana, que atualmente não conta com atendimento ferroviário. Além disso, a extensão até São Lourenço da Mata representa um avanço significativo, considerando a demanda existente nessa área. No entanto, alguns pontos atendidos pela malha real não foram contemplados na nova configuração, como Jaboatão Centro e Cabo de Santo Agostinho, evidenciando diferenças na cobertura entre os modelos.

Para ilustrar a diferença que a nova malha ferroviária proporcionaria em comparação com a malha atual, foram selecionados três trajetos distintos, os quais foram comparados às opções de deslocamento disponíveis na atualidade, utilizando o Google Maps (GOOGLE, 2025), ferramenta que tende a apresentar estimativas otimistas para o transporte público na cidade. No cálculo do tempo de viagem na nova malha, adotou-se uma velocidade média de 35 km/h, velocidade empregada pelo metrô de São Paulo[do Metropolitano de São Paulo 2025]. Os trajetos realizados na nova rede estão destacados em verde.

- **Deslocamento da zona 173 até a zona 53**
 - **Situação atual**

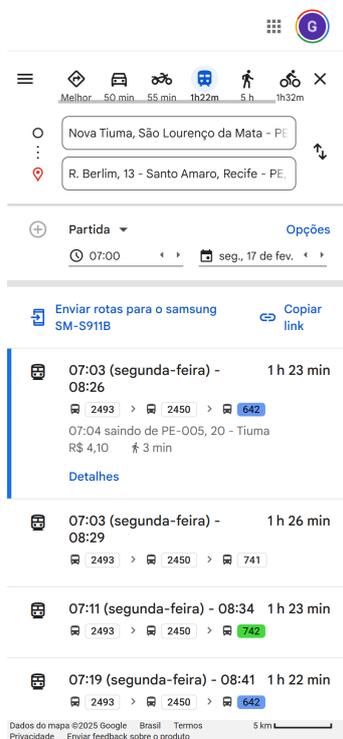


Figura 6. Trajeto entre Nova Tiúma, São Lourenço da Mata - PE (zona 173) até R. Berlin, Santo Amaro, Recife - PE (zona 53)

A Figura 6 apresenta as alternativas de deslocamento entre os dois pontos, juntamente com a estimativa de tempo para cada uma. A opção mais rápida é realizada por meio de carro, com duração aproximada de 50 minutos. Utilizando o transporte público, o trajeto é concluído em cerca de 1 hora e 23 minutos.

- **Deslocamento com a nova malha de metrô**

A Figura 7 ilustra como seria o deslocamento entre os pontos com a malha ferroviária proposta. Nesse cenário, o percurso de 25,38 km seria percorrido em aproximadamente 43,5 minutos, apresentando-se como uma alternativa mais eficiente em relação ao deslocamento por carro.

- **Deslocamento da zona 24 até a zona 114**

- **Situação atual**

O trajeto mais ágil é realizado de carro, com duração estimada em 40 minutos. Por meio do transporte público, o deslocamento leva, no mínimo, 1 hora e 26 minutos, conforme ilustrado na Figura 8.

- **Deslocamento com a nova malha de metrô**

Com a implementação da malha proposta, o percurso de 23,8 km seria realizado em aproximadamente 40,91 minutos, tempo praticamente equivalente ao do deslocamento por carro. O trajeto está representado na Figura 9.

- **Deslocamento da zona 215 até a zona 59**

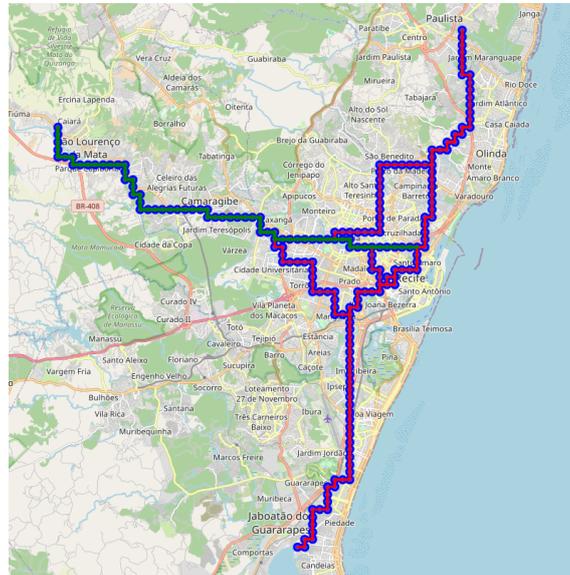


Figura 7. Trajeto utilizando a nova malha de metrô entre Nova Tiúma, São Lourenço da Mata - PE (zona 173) e R. Berlin, Santo Amaro, Recife - PE (zona 53)

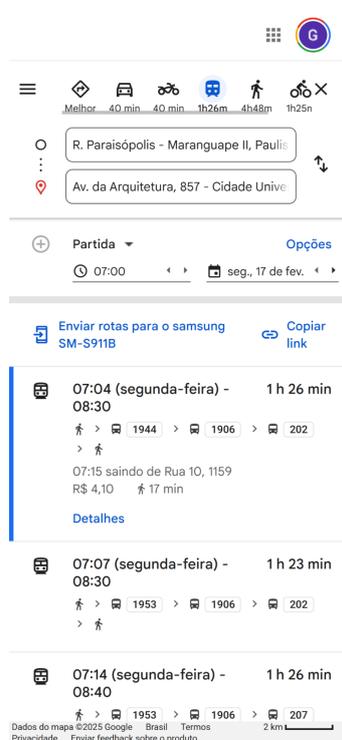


Figura 8. Trajeto entre R. Paraisópolis - Maranguape II, Paulista - PE (zona 24) até a UFPE (zona 114)

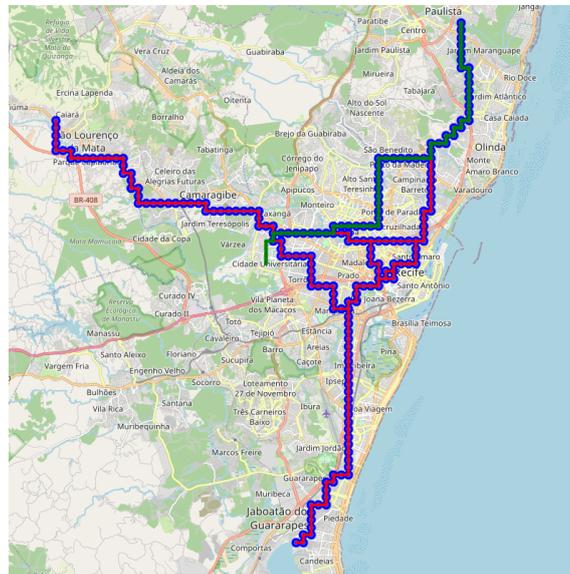


Figura 9. Trajeto utilizando a nova malha de metrô entre R. Paraisópolis - Maranguape II, Paulista - PE (zona 24) e a UFPE (zona 114)

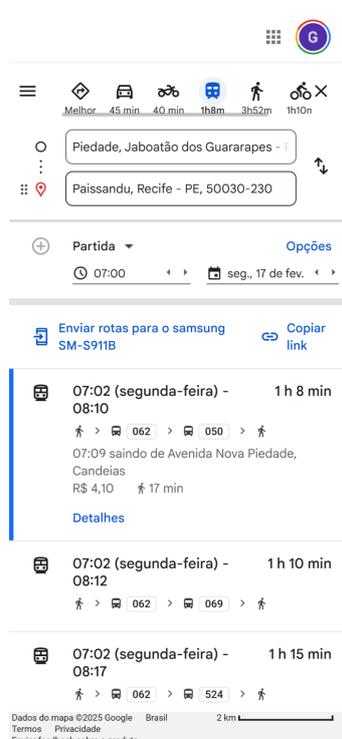


Figura 10. Trajeto entre Piedade, Jaboatão dos Guararapes - PE (zona 215) até Paissandu, Recife - PE (zona 59)

– Situação atual

Atualmente, o deslocamento mais rápido ocorre por meio de carro, com tempo estimado de 45 minutos. Quando realizado por transporte público, o trajeto leva cerca de 1 hora e 8 minutos, conforme apresentado na Figura 10.

– Deslocamento com a nova malha de metrô

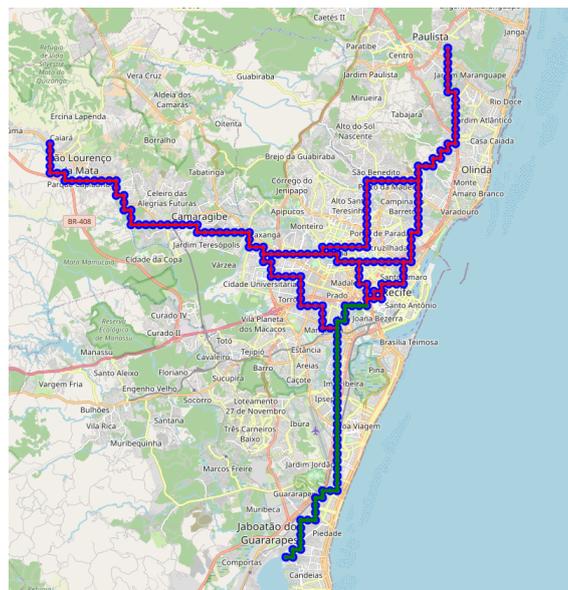


Figura 11. Trajeto utilizando a nova malha de metrô entre Piedade, Jaboatão dos Guararapes - PE (zona 215) e Paissandu, Recife - PE (zona 59)

Com a nova malha ferroviária proposta, o percurso de 17,9 km seria percorrido em aproximadamente 30,74 minutos, representando uma alternativa mais eficiente do que o deslocamento por carro. O trajeto está ilustrado na Figura 11.

7. Conclusão

A proposta apresentada neste artigo ofereceu uma nova perspectiva para a expansão da malha ferroviária do metrô de Recife. Utilizando algoritmos baseados em dados atualizados de mobilidade e densidade populacional, foi possível planejar uma rede que não só otimiza o atendimento à demanda atual, mas também oferece maior flexibilidade para expansões futuras. Diferentemente dos projetos tradicionais, que estão limitados à infraestrutura existente, a presente abordagem é mais dinâmica e adaptável. O algoritmo também pode ser ajustado para considerar custos de construção e a malha atual, proporcionando uma visão mais realista e prática para aplicações futuras. Assim, a proposta não apenas complementa os projetos anteriores, mas apresenta uma solução viável e eficaz para o futuro do transporte público na região metropolitana de Recife.

Referências

CBTU (1984). Relatório anual. Relatório Anual, Página 99. Disponível em: https://intranet.cbtu.gov.br/images/gaplo/administracaoanual/rel_admin/rel_84.pdf. Acesso em: 26/03/2025.

- CBTU (1995). Relatório anual. Relatório Anual, Página 99. Disponível em: https://intranet.cbtu.gov.br/images/gaplo/administracaoanual/rel_admin/rel_95.pdf. Acesso em: 26/03/2025.
- CBTU (2020). Cbtu transportou 157 milhões de passageiros em 2019. Disponível em: https://intranet.cbtu.gov.br/index.php/pt/?option=com_content&view=article&Itemid=1102&id=8300. Acesso em: 26/03/2025.
- CBTU (2022). Sistema de trens urbanos de recife. Disponível em: <https://intranet.cbtu.gov.br/index.php/pt/sistemas-cbtu/recife>. Acesso em: 26/03/2025.
- do Metropolitano de São Paulo, C. (2025). Linha 15-prata: Características. Disponível em: https://www.metro.sp.gov.br/pt_BR/obras/linha-15-prata/caracteristicas/. Acesso em: 01 abr. 2025.
- Laporte, G. and Pascoal, M. M. B. (2015). Path based algorithms for metro network design. *Computers & Operations Research*, 62:78–94.
- SILVA, G. F. X. d. (2024). Recife metro network design: design da rede metroviária de recife. Disponível em: https://github.com/guilhermefxs/recife_metro_network_design/. Acesso em: 13 out. 2024.
- SILVEIRA, I. D. C. P. and METROPOLITANO, G. R. C. D. T. (2018). Pesquisa origem-destino metropolitana 2018. Disponível em: <http://dados.recife.pe.gov.br/dataset/pesquisa-origemdestino-metropolitana-2018>. Acesso em: 05/11/2023.