

Recomendação de rotas para cadeirantes no transporte público em João Pessoa - PB

Juan Cássio Oliveira Marques¹ , Francisco Dantas Nobre Neto² , Bruno Neiva Moreno³ , Thiago José Marques Moura⁴ 

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB)
Caixa postal 58015-435 - João Pessoa - PB - Brasil

juan.marques@academico.ifpb.edu.br, dantas.nobre@ifpb.edu.br,
bruno.moreno@ifpb.edu.br, thiago.moura@ifpb.edu.br

Abstract. *Urban mobility for people with disabilities still faces challenges related to the lack of structured information about accessibility. In this context, this paper proposes a computational model for recommending accessible routes in the public transportation system of João Pessoa (PB), Brazil. The model uses the Dijkstra algorithm and a heuristic evaluation based on accessibility criteria, such as sidewalk width, presence of ramps, and pedestrian crossings. The model was applied to five routes for evaluation. The results indicate that the shortest route does not always correspond to the most suitable alternative for wheelchair users, highlighting the importance of accessibility attributes in the recommendation of urban routes.*

Resumo. *A mobilidade urbana de pessoas com deficiência enfrenta desafios relacionados à ausência de informações sobre acessibilidade. Nesse contexto, este trabalho propõe um modelo computacional para recomendação de rotas acessíveis no transporte público da cidade de João Pessoa (PB). O modelo utiliza o algoritmo de Dijkstra e uma heurística de avaliação baseada em critérios de acessibilidade, como largura das calçadas, presença de rampas e de faixas de pedestres. O modelo foi aplicado em cinco percursos para análise. Os resultados indicam que a rota de menor distância nem sempre corresponde à alternativa mais adequada para usuários cadeirantes, sendo mais relevantes aquelas que apresentam atributos de acessibilidade.*

1. Introdução

A acessibilidade urbana é fundamental para a inclusão social, sendo o transporte público um dos principais promotores de oportunidades [1]. No entanto, pessoas cadeirantes enfrentam desafios na mobilidade urbana, especialmente em países em desenvolvimento, onde os sistemas convencionais apresentam limitações estruturais [2]. No Brasil, aproximadamente 14,4 milhões de pessoas possuem algum tipo de deficiência, das quais cerca de 5,2 milhões apresentam dificuldades relacionadas à locomoção pedonal [3]. A legislação vigente, como a Lei nº 13.146/2015, estabelece diretrizes para garantir a autonomia e a inclusão dessas pessoas na sociedade. Entretanto, ainda se observam espaços públicos marcados por barreiras físicas que dificultam o deslocamento seguro e independente desses usuários [4].

Um dos desafios para o desenvolvimento de modelos de roteamento voltados à acessibilidade urbana é a fragmentação e a falta de padronização dos dados sobre infraestrutura acessível. Embora existam bases públicas disponíveis, a incerteza quanto

à precisão geométrica e à atualização dessas informações dificulta sua integração em modelos computacionais de recomendação de rotas [5]. Além disso, plataformas globais reconhecidas, como o Wheelmap [6], ainda apresentam densidade limitada de dados e reduzida popularidade no contexto brasileiro, o que restringe sua utilidade voltada à realidade urbana do país.

Diante desse cenário, este artigo propõe um modelo computacional de recomendação de rotas acessíveis para cadeirantes no transporte público da cidade de João Pessoa (PB). A principal contribuição deste trabalho consiste no desenvolvimento de uma heurística de avaliação de rotas que incorpora atributos de acessibilidade da infraestrutura urbana, tais como largura das calçadas, presença de rampas de acessibilidade e existência de faixas de pedestres. Para a geração das rotas candidatas, utiliza-se o algoritmo de Dijkstra [7].

2. Trabalhos relacionados

Os trabalhos analisados nesta seção abordam a mobilidade urbana com foco na recomendação de rotas acessíveis para cadeirantes, incluindo aplicações de navegação baseadas em critérios de acessibilidade e modelos de avaliação multicritério voltados à definição de pesos associados aos atributos.

O trabalho de Ugalde *et al.* [8] apresenta um sistema colaborativo para gerenciamento de obstáculos urbanos, no qual usuários podem relatar condições de acessibilidade de rampas e registrar barreiras nas calçadas ao longo das rotas. O sistema utiliza um algoritmo denominado *ShortestPathObstacleFree*, baseado em uma variação do algoritmo de Dijkstra, que recalcula trajetórias a partir de informações sobre obstáculos, inclinação e presença de rampas. A avaliação do sistema indicou média geral de 4,90 em uma escala de 1 a 5, considerando critérios de funcionalidade, usabilidade e confiabilidade, a partir da análise de usuários e especialistas.

Patras *et al.* [9] propuseram um algoritmo heurístico baseado em penalidades para identificação de rotas acessíveis em áreas urbanas. A abordagem utiliza o cálculo dos k -caminhos mais curtos, ajustando os pesos das arestas do grafo com base em atributos de acessibilidade, como presença de faixas de pedestres, condições das vias e largura das calçadas. Esses atributos são incorporados ao modelo como fatores que influenciam o custo das rotas, refletindo a qualidade da infraestrutura pedonal.

Darko *et al.* [10] propõem o método VRUPOD (Vulnerable Road User Personalized Optimal Decision), uma abordagem de roteamento adaptativo voltada a usuários com mobilidade reduzida. O modelo considera múltiplos atributos de acessibilidade relacionados às condições físicas do ambiente, como largura das calçadas, inclinação, tipo de superfície, presença de rampas, existência de obstáculos e comprimento do trajeto, além de fatores dinâmicos, como condições meteorológicas e preferências dos usuários.

Nesse contexto, alguns trabalhos adotam a definição prévia de pesos atribuídos a valores multicritério utilizando algoritmos genéticos. Esses algoritmos baseiam-se em operadores de seleção, cruzamento e mutação, nos quais a seleção prioriza indivíduos com melhor desempenho segundo a função de aptidão (fitness), o cruzamento combina soluções e a mutação introduz variações na população [11].

No trabalho de Gürler, Özçalıcı e Pamucar [12] é proposto um modelo baseado em algoritmos genéticos para estimar valores de ponderação em métodos de decisão multicritério. O método busca maximizar a consistência das avaliações e a capacidade discriminatória do sistema decisório, produzindo configurações de pesos que representam adequadamente a relevância relativa dos fatores analisados. Os resultados evidenciam que técnicas evolutivas são eficazes na calibração de parâmetros em modelos multicritério, fundamentando a adoção de estratégias semelhantes na definição dos pesos no presente estudo.

Os trabalhos apresentados convergem em aspectos centrais na recomendação de rotas acessíveis, destacando o uso de atributos da infraestrutura urbana, especialmente a largura da calçada. Apesar disso, observa-se que, na maioria dos trabalhos acadêmicos, os dados utilizados são provenientes de coleta colaborativa de usuários. Entretanto, o presente trabalho, diferencia-se ao empregar dados oficiais do município, integrados ao transporte público, além de adotar uma heurística multicritério voltada à acessibilidade, em contraste com abordagens tradicionais baseadas exclusivamente na minimização da distância.

3. Materiais e métodos

Este trabalho propõe uma heurística que é capaz de identificar o caminho mais acessível entre dois pontos, denominados origem e destino. O modelo proposto é ilustrado na Figura 1.

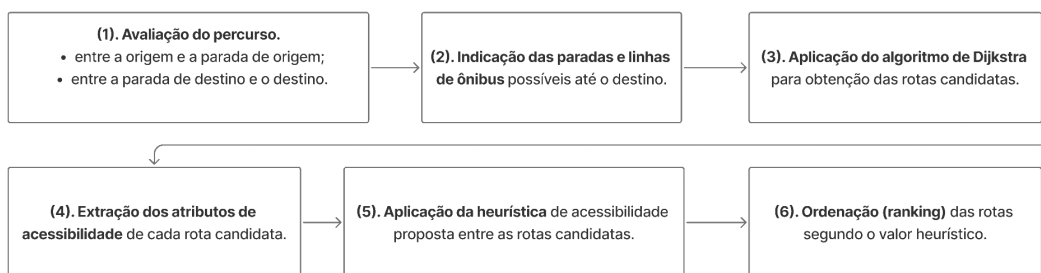


Figura 1 - Diagrama do processo da proposta.

O modelo utiliza o algoritmo de Dijkstra para identificar as rotas mais curtas, denominadas Rotas Candidatas. A partir dessas rotas, aplica-se uma heurística de acessibilidade que avalia cada percurso segundo atributos de acessibilidade físicos do ambiente. A Figura 2 apresenta um exemplo de trajetória.

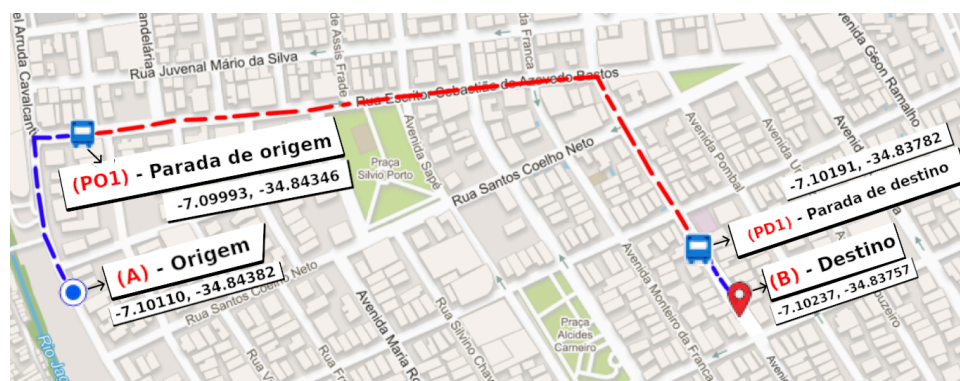


Figura 2 - Exemplo de trajetória.

O trajeto completo entre a Origem e o Destino, envolve o percurso do usuário entre esses pontos e suas respectivas paradas de ônibus (PO e PD). Para usuários com mobilidade reduzida, o percurso recomendado deve considerar ônibus acessível e percursos entre Origem e PO1 e entre PD1 e Destino que apresentem condições de acessibilidade.

3.1. Uso do algoritmo de Dijkstra

As rotas candidatas são geradas a partir do algoritmo de Dijkstra, considerando a menor distância entre dois pontos. O modelo adota uma abordagem baseada em múltiplas alternativas, na qual são extraídas três rotas candidatas entre os pontos de interesse. A primeira corresponde ao caminho mínimo tradicional obtido pelo algoritmo de Dijkstra, enquanto as demais são variações desse caminho, geradas por meio de uma estratégia de obtenção de *k-caminhos* mais curto, na qual permite explorar alternativas próximas ao ótimo em termos de distância.

A separação entre a etapa de geração das rotas (Dijkstra) e a etapa de avaliação heurística favorece a modularidade do modelo, permitindo a incorporação de novos critérios de avaliação sem a necessidade de alterações na estrutura algorítmica principal, o que pode contribuir para a escalabilidade da proposta.

3.2. Definição da relevância dos atributos de acessibilidade

Os critérios de acessibilidade considerados na avaliação das rotas são organizados segundo uma hierarquia de relevância definida a partir de evidências reportadas na literatura sobre mobilidade urbana acessível. Estudos da área, discutidos na Seção 2, indicam que largura da calçada constitui um fator crítico para a circulação segura, seguida, pelo número de rampas de acessibilidade; número de faixas de pedestres e, por fim, pela distância percorrida, considerada o critério de menor prioridade, atuando como fator de penalização quando excessiva. Essa relação é expressa pela diretriz $W_l > W_r > W_f > W_d$. É composta por um vetor que atende simultaneamente a três condições: valores não negativos, soma unitária e respeito à hierarquia de relevância estabelecida.

Os valores dos atributos extraídos das rotas candidatas são normalizados por meio do método Min–Max. Este método assegura que os atributos originalmente expressos em escalas distintas possam ser combinados na heurística de avaliação [13].

A definição dos pesos associados aos atributos de acessibilidade é realizada por meio de um Algoritmo Genético, empregado como mecanismo de otimização da função heurística do modelo. Cada indivíduo é representado por um vetor de pesos: $W = [w_1, w_2, \dots, w_n]$, onde cada w_i corresponde à importância atribuída a um atributo de acessibilidade.

Após a definição da diretriz de relevância e da geração dos vetores válidos da população inicial, inicia-se a etapa de calibração dos pesos, na qual a população foi composta por 50 indivíduos de pesos gerados sob as restrições estabelecidas pela diretriz de relevância dos atributos. Cada indivíduo representa uma combinação distinta de pesos dos atributos de acessibilidade. Dessa forma, diferentes distribuições de

importância entre os atributos de acessibilidade são avaliadas ao longo do processo evolutivo.

O processo de calibração foi conduzido por 20 gerações e em cada geração, os indivíduos são avaliados segundo seu desempenho na diferenciação heurística entre as rotas analisadas. Vetores que apresentam melhores resultados possuem maior probabilidade de permanecer nas gerações seguintes.

Para conduzir o processo evolutivo, foi empregada seleção por torneio, mecanismo utilizado para priorizar os indivíduos com melhor desempenho relativo dentro da população. Além disso, aplicou-se taxa de cruzamento de 0,80, responsável pela recombinação de características entre vetores promissores. Nesse procedimento, pares de indivíduos podem combinar parcialmente seus genes, produzindo novos vetores descendentes com diferentes distribuições de pesos. Paralelamente, foi utilizada a taxa de mutação de 0,10, permitindo pequenas alterações aleatórias nos genes dos indivíduos ao longo das gerações.

A escolha do Algoritmo Genético justifica-se pela natureza do problema, que envolve a otimização de múltiplos critérios sob restrições previamente definidas. Diferentemente de abordagens mais simples, como a atribuição manual de pesos ou métodos determinísticos, o uso de técnicas evolutivas permite explorar o espaço de soluções viáveis e reduz a subjetividade na definição dos coeficientes.

3.3. Heurística proposta

Ao longo das iterações do processo do algoritmo genético é gerado um conjunto estável de pesos. Como resultado, obteve-se o vetor final: $W_l = 0,41$, $W_r = 0,29$, $W_f = 0,20$, $W_d = 0,10$, o qual reflete a hierarquia conceitual dos critérios de acessibilidade. A heurística aplicada no modelo proposto é expressa por:

$$H = W_l \cdot L^{norm} + W_r \cdot R^{norm} + W_f \cdot F^{norm} + W_d \cdot (1 - D^{norm})$$

Os atributos L^{norm} , R^{norm} , F^{norm} e D^{norm} representam, respectivamente, a largura média das calçadas, a quantidade de rampas de acessibilidade, a quantidade de faixas de pedestres e a distância total do percurso.

3.4. Recomendação das paradas de ônibus e linhas possíveis

A seleção das paradas de ônibus prioriza as mais próximas da origem (embarque) e do destino final (desembarque). Caso essas opções não atendam à linha necessária, o modelo passa a considerar alternativas sucessivas. Como resultado, a recomendação apresenta duas opções de paradas e três rotas candidatas. A escolha por indicar apenas duas paradas se deve ao fato de que a terceira, normalmente, já está a uma distância maior em relação às escolhidas.

As rotas de ônibus foram definidas a partir de um procedimento de comparação espacial entre os dados dos itinerários e as localizações das paradas. Os dados de itinerários dos ônibus incluem o número identificador de cada linha e a representação

geográfica de seus trajetos na forma de conjunto (array) de polígonos compostos por coordenadas de latitude e longitude. As paradas de ônibus também são representadas por coordenada geográfica (latitude e longitude).

3.5. Dados utilizados

Os dados utilizados no modelo de recomendação foram obtidos de bases institucionais da Superintendência Executiva de Mobilidade Urbana de João Pessoa (SEMOB). O conjunto inclui informações sobre linhas e paradas de ônibus, rampas de acessibilidade e faixas de pedestres, todos associados a coordenadas geográficas, referentes ao período de 2022 a 2023. Ressalta-se que, os dados oficiais podem apresentar diferenças em relação às condições reais da infraestrutura urbana.

Além desses dados, a largura das calçadas foi coletada manualmente para avaliação pedonal, sendo identificada por meio da inspeção visual no Google Maps, utilizando o modo satélite. Para estimar a largura das calçadas, foi utilizada a ferramenta “Medir distância”. O procedimento consistiu em traçar uma linha perpendicular à via, partindo do limite da pista de rolamento (meio-fio) até o início da edificação ou do limite do lote adjacente. Todo esse espaço foi considerado como área de calçada para fins de mensuração. Dessa forma, a medida obtida representa uma estimativa aproximada da largura disponível para circulação de pedestres. A Figura 3 ilustra o procedimento aplicado em uma calçada, com largura estimada de 3,82 m.

Vale ressaltar que, conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas [14], a largura mínima recomendada para a faixa livre de circulação em calçadas acessíveis é de 1,20 m, devendo apresentar superfície regular, firme e estável.



Figura 3 - Exemplo de medição manual da calçada.

Não foi realizada a mensuração exaustiva de toda a malha urbana, o que implicaria elevado esforço computacional e operacional. A coleta da largura das calçadas foi realizada de forma pontual e direcionada, considerando apenas os segmentos associados às rotas candidatas. Nos casos em que o trajeto envolve mais de um segmento de calçada com larguras distintas, adotou-se como referência o segmento de maior extensão ao longo do percurso, por representar a maior parcela do deslocamento do usuário.

4. Execução do modelo proposto

Esta seção apresenta uma simulação entre a origem e a parada de origem. Para fins de representação, foram adotados rótulos para identificar os pontos considerados no processo de roteamento. As paradas de origem são representadas pelo rótulo PO(n), em que n indica a ordem das paradas mais próximas selecionadas (1ª ou 2ª) e a localização inicial do usuário é representada pelo rótulo A.

4.1. Análise das paradas e linhas de ônibus possíveis

Para a identificação da parada de desembarque mais próxima do destino do usuário, é utilizada a distância geodésica entre o destino e cada parada de ônibus, calculada por meio da fórmula de Haversine [15]. Com base nessa métrica, o modelo seleciona as duas paradas mais próximas do destino e suas respectivas linhas de ônibus. Em seguida, identifica as paradas de embarque mais próximas da origem do usuário e verifica quais linhas atendem simultaneamente às paradas de origem e de destino, assegurando a viabilidade do trajeto.

Caso nenhuma das linhas de ônibus associadas às paradas selecionadas atenda ao trajeto desejado, o modelo expande o conjunto de busca, procurando a próxima parada mais próxima ao destino, conforme ordenação pela distância geodésica.

Na análise dessa trajetória (Figura 4), a parada de ônibus mais próxima e recomendada para o usuário está localizada em PO1. A parada PO2 não será considerada nessa avaliação por não possuir linhas que atendam ao destino informado.

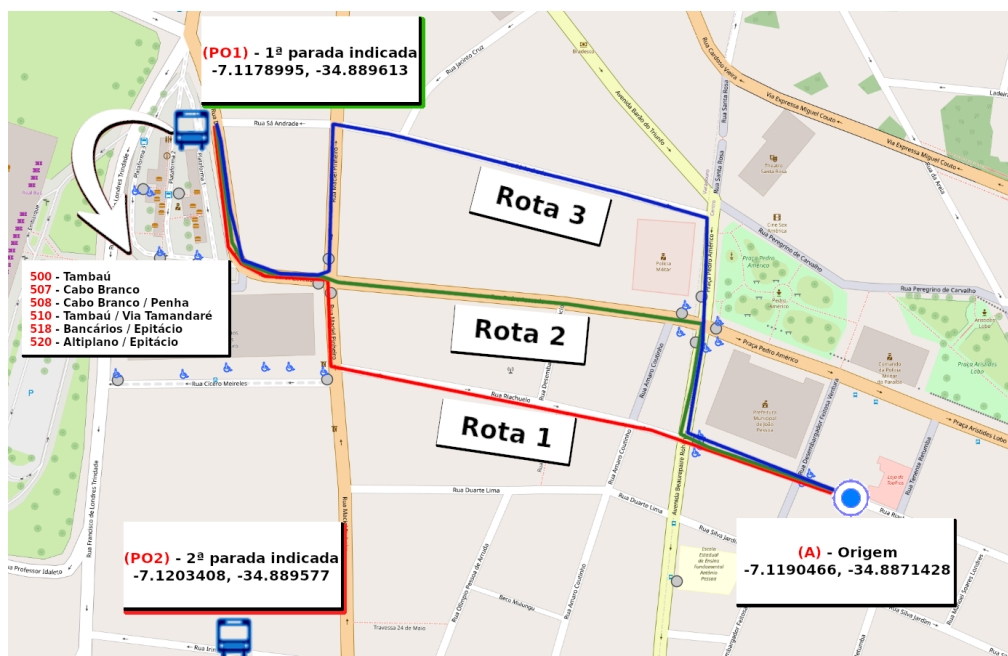


Figura 4 - Paradas de origem próximas ao usuário e rotas candidatas.

Apenas 6 linhas (500, 507, 508, 510, 518, 520) estão disponíveis. Essas linhas correspondem àquelas cujos itinerários passam pelas paradas selecionadas próximas ao destino, sendo, portanto, consideradas viáveis para o deslocamento do usuário.

4.2. Aplicação da heurística proposta

Considerando o PO1 como parada de embarque mais próxima, três rotas candidatas foram recomendadas, representado por trajetos diferentes na Figura 4. A Tabela 1 apresenta a quantidade de elementos de acessibilidade em cada rota.

Tabela 1 - Análise das rotas entre a origem e parada de embarque.

Rota	Largura calçada	Nº de rampas	Nº de faixas	Distância (m)
Rota 1	5,24m	5	4	400m
Rota 2	6,28m	6	5	412m
Rota 3	1,18m	5	3	465m

A normalização dos atributos de cada rota candidata encontra-se descrita na Tabela 2, enquanto a aplicação da heurística proposta a cada uma delas é detalhada na Tabela 3.

Tabela 2 - Normalização dos atributos.

Rota	$L_{norm} = \frac{L-1,18}{6,28-1,18}$	$R_{norm} = \frac{R-5}{6-5}$	$F_{norm} = \frac{F-3}{5-3}$	$D_{norm} = \frac{D-400}{465-400}$	$(1 - D_{norm})$
1	0,8	0	0,5	0	1
2	1	1	1	0,18	0,82
3	0	0	0	1	0

Tabela 3 - Análise das rotas considerando a heurística proposta.

Rota 1	$H_1 = 0,41 \cdot (0,80) + 0,29 \cdot (0) + 0,20 \cdot (0,5) + 0,10 \cdot (1) = 0,528$
	$H_{1(norm)} = 0,538$
Rota 2	$H_2 = 0,41 \cdot (1) + 0,29 \cdot (1) + 0,20 \cdot (1) + 0,10 \cdot (0,82) = 0,982$
	$H_{2(norm)} = 1,00$
Rota 3	$H_3 = 0,41 \cdot (0) + 0,29 \cdot (0) + 0,20 \cdot (0) + 0,10 \cdot (0) = 0,00$
	$H_{3(norm)} = 0,00$

Diante do exposto, a rota mais adequada em termos de acessibilidade é a Rota 2. Embora apresente distância ligeiramente maior que a Rota 1, a Rota 2 é a mais indicada por possuir maior quantidade de elementos de acessibilidade. A Rota 3 ocupa a última posição, principalmente por não atender à largura mínima.

O percurso apresentado constitui apenas um recorte ilustrativo do processo de roteamento entre origem e parada de embarque. O mesmo procedimento é aplicado de forma análoga ao deslocamento entre a parada de desembarque e o destino final.

5. Avaliação Experimental

5.1. Configuração dos experimentos

A avaliação do modelo foi realizada em cinco percursos distribuídos em diferentes regiões de João Pessoa, contemplando tanto áreas de interesse turístico quanto trajetos em bairros periféricos. Para cada percurso, foram consideradas paradas de origem e de destino, sendo geradas até três rotas candidatas por parada. Dessa forma, cada percurso pode resultar em até 12 rotas candidatas, totalizando aproximadamente 60 rotas analisadas. Contudo, em situações nas quais os pontos analisados encontram-se muito próximos entre si, o modelo pode gerar um número menor de alternativas, uma vez que não há variação espacial suficiente para a identificação de três rotas distintas.

A Tabela 4 apresenta os percursos avaliados, indicando o número identificador de cada percurso, o local de origem, o destino e a quantidade de linhas de ônibus possíveis para realizar o deslocamento.

Tabela 4 - Percursos analisados.

Percurso	Origem	Destino	Linhas possíveis
1	R. Profa. Maria Lianza	Via Pau Brasil	2
2	R. Desp. Heronides	R. Visc de Itapirica	4
3	R. Des. Trindade	Av. Visc. de Pelotas	5
4	Av. Rio Grande do Sul	Praça São Gonçalo	35
5	R. Jorn. Lena Guimarães	R. Franca Filho	3

5.2. Comparação com o menor caminho

A análise dos percursos evidencia um padrão consistente: a rota de menor distância não apresenta rotas adequadas para cadeirantes. Rotas alternativas, ainda que mais extensas, tendem a obter melhor classificação no ranking por apresentarem maior quantidade de atributos de acessibilidade.

Esse comportamento é evidente em alguns percursos. No Percurso 4 (Tabela 5), por exemplo, a rota de menor distância não ocupa a primeira posição em nenhuma das paradas analisadas. Nos demais casos, como nos Percursos 2, 3 e 5, essa tendência também se manifesta, ainda que de forma menos acentuada, com a perda da primeira colocação da menor rota em pelo menos uma das paradas analisadas.

Tabela 5 - Ranking das rotas candidatas - Percurso 4.

	Ranking	Rota	Largura Calçada	Rampas	Faixas	Distância
1ª Parada de Origem	1	3	3.02m	0	6	386m
	2	2	3.05m	0	4	360m
	3	1	1.32m	0	2	136m

2ª Parada de Origem	1	2	3.50m	0	4	3.50m
	2	3	3.21m	0	4	3.21m
	3	1	1.09m	0	4	1.09m
1ª Parada de Destino	1	2	2.20m	2	2	463m
	2	3	2.21m	2	2	478m
	3	1	1.11m	2	2	435m
2ª Parada de Destino	1	2	2.26m	2	1	331m
	2	3	2.28m	2	1	345m
	3	1	1.08m	2	1	303m

Constatou-se ainda que as rotas mais curtas, utilizam atalhos por meio de becos e vias secundárias, nos quais a infraestrutura urbana se mostra insuficiente. No Percurso 2, por exemplo, uma das rotas alternativas indicadas incluía uma via cuja largura da calçada não atingia 1,20m. Isso reforça a necessidade de priorização de vias principais, que, em geral, apresentam melhores padrões de infraestrutura e maior concentração de elementos de acessibilidade.

Apenas no Percurso 1 a rota de menor distância apresenta melhor desempenho, ocupando a primeira posição em todas as paradas analisadas (Tabela 6).

Tabela 6 - Ranking das rotas candidatas - Percurso 1.

	Ranking	Rota	Largura Calçada	Rampas	Faixas	Distância
1ª Parada de Origem	1	1	3.84m	0	0	232m
	2	2	2.74m	0	2	235m
	3	3	2.03m	0	0	338m
2ª Parada de Origem	1	1	3.84m	0	0	235m
	2	2	2.74m	0	2	236m
	3	3	2.03m	0	0	340m
1ª Parada de Destino	1	1	2.36m	4	0	638m
	2	3	2.03m	4	0	647m
	3	2	2.05m	4	0	645m
2ª Parada de Destino	1	1	2.09m	6	2	871m
	2	3	2.03m	6	2	878m
	3	2	2.52m	4	1	872m

Esse resultado evidencia que o modelo proposto não penaliza a rota de menor distância de forma arbitrária, mas a considera de maneira equilibrada em conjunto com os demais critérios de acessibilidade.

5.3. Impacto dos atributos da heurística

Nos resultados apresentados, a largura da calçada exerce influência no resultado do ranking, podendo, em determinadas situações, conferir vantagem às rotas que apresentam maiores valores para esse atributo. No entanto, esse critério não atua de

forma isolada na definição da melhor rota. Na segunda parada de destino no Percurso 5, a rota com maior largura de calçada não ocupa a primeira posição.

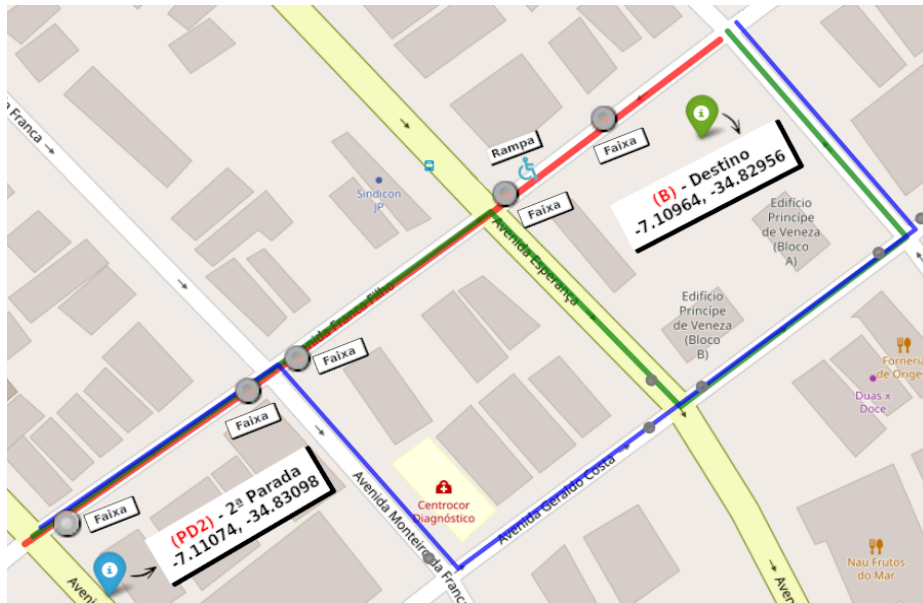


Figura 5 - Rotas da segunda parada de destino do Percurso 5.

- **Rota 1:** ranking = 1, largura = 1,72m, rampas = 1, faixas = 5, distância = 228m
- **Rota 2:** ranking = 2, largura = 2,10m, rampas = 0, faixas = 6, distância = 368m
- **Rota 3:** ranking = 3, largura = 1,52m, rampas = 0, faixas = 6, distância = 372m

As rotas analisadas para a segunda parada do Percurso 5 são apresentadas na Figura 5, na qual a rota 1 está representada pelo tracejado na cor vermelha, observa-se que a rota 1 se destaca por apresentar a presença de uma rampa de acessibilidade, inexistente nas demais alternativas, mesmo com a largura da calçada menor.

6. Considerações finais

Os experimentos realizados demonstram que a heurística é capaz de recomendar rotas com base em atributos da infraestrutura urbana associados à acessibilidade de usuários cadeirantes. Ao incorporar esses critérios, o modelo gerou uma ordenação das rotas distinta daquela obtida por abordagens baseadas apenas na distância percorrida.

Embora o modelo considere a largura da calçada como critério de avaliação, esse parâmetro, quando analisado de forma isolada e estimado manualmente, é insuficiente para caracterizar plenamente a qualidade do trajeto, uma vez que fatores como irregularidades no pavimento, barreiras físicas, condições das rampas (conforme a Norma Brasileira de Acessibilidade) e inclinações também impactam o deslocamento de cadeirantes, além de não contemplar barreiras dinâmicas, como veículos estacionados irregularmente ou degradações recentes da via.

Nesse contexto, trabalhos futuros podem explorar a automatização desse processo por meio de técnicas de Visão Computacional, sensoriamento oportunístico ou integração com bases de dados mais atualizadas. A incorporação dessa estratégia pode contribuir para o aprimoramento do modelo proposto.

7. Referências

- Liu L, et al. Disparities in public transit accessibility and usage by people with mobility disabilities. *Transportation Research Part A*. 2023;170:103728.
- Silva T, et al. Accessibility strategies to promote inclusive mobility through multi-objective approach. *Sustainable Cities and Society*. 2023;92:104540.
- IBGE. Rio de Janeiro: [citado 2026 jan 12]. Censo 2022: Brasil tem 14,4 milhões de pessoas com deficiência; Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br>
- Klein P, Grigoletti GC. Acessibilidade espacial de deficientes físicos, visuais e idosos em parque público. *PARC: Pesq Arquit Constr*. 2021;12:e021016.
- Bustamante R, et al. Using open data to quantify accessibility to multiple public services: the study case of Lima. (INTERCON); 2021 Oct 13-16; Lima, Peru. Piscataway (NJ): IEEE; 2021. p. 1-4.
- Mobasher A, Deister J, Dieterich H. Wheelmap: the wheelchair accessibility crowdsourcing platform. *Open Geospat Data Softw Stand*. 2017;2(1):27.
- Dijkstra EW. A note on two problems in connexion with graphs. *Numer Math*. 1959;1(1):269-271.
- Ugalde BH, et al. Barrier-free routes in a geographic information system. (UEMCON); 2022 Oct 26-29; New York, NY. Piscataway (NJ): IEEE; 2022. p. 119-123.
- Patras V, et al. Revisiting shortest path algorithms for navigation systems. In: *Proceedings of the 28th International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON)*; 2021 Oct 13-16; Lima, Peru. Piscataway (NJ): IEEE; 2021. p. 1-5.
- Darko J, et al. Adaptive personalized routing for vulnerable road users. *IET Intell Transp Syst*. 2021;15(7):912-922.
- Chen ZG, Zhan ZH, Kwong S, Zhang J. Evolutionary computation for intelligent transportation in smart cities: a survey. *IEEE Comput Intell Mag*. 2022;17(2):83-102.
- Gürler HE, Özçalıcı M, Pamucar D. Determining criteria weights with genetic algorithms for multi-criteria decision making methods: the case of logistics performance index rankings of European Union countries. *Expert Syst Appl*. 2024;238(Part C):121820.
- Han J, Kamber M, Pei J. *Data mining: concepts and techniques*. 4th ed. San Francisco: Morgan Kaufmann; 2022.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16537: Acessibilidade - Sinalização tátil no piso. Rio de Janeiro: ABNT; 2024.
- Sinnott RW. Virtues of the Haversine. *Sky Telesc*. 1984;68:158.