

Heurística de Acessibilidade e Prototipação de Aplicativo de Navegação Assistiva para Pessoas com Deficiência Visual

Cesar Lucas Aguiar Lescano
Instituto Federal de Mato Grosso do Sul
Campo Grande, MS
cesar.lescano@estudante.ifms.edu.br

Matheus Henrique Bezerra Nunes
Instituto Federal de Mato Grosso do Sul
Campo Grande, MS
matheus.nunes@estudante.ifms.edu.br

Heitor Tonani Moraca
Instituto Federal de Mato Grosso do Sul
Campo Grande, MS
heitor.moraca@estudante.ifms.edu.br

Luiz Fernando Delboni Lomba
Instituto Federal de Mato Grosso do Sul
Campo Grande, MS
luiz.lomba@ifms.edu.br

Abstract

This paper presents an assistive navigation approach for people with visual impairments (PwVI), based on the modeling of an accessibility heuristic and the prototyping of an application that integrates environmental information into routes generated by a pedestrian-oriented routing API. The objective was to improve the characterization of pedestrian mobility conditions, addressing limitations observed in existing navigation solutions. The methodology included in loco mapping of urban barriers and sensory reference items, evaluation of navigation applications and routing APIs, development of the heuristic, and its partial implementation in a functional prototype. Results indicated a predominance of barriers in the urban infrastructure, limited sensitivity of the evaluated systems to accessibility conditions, and insufficient navigation instructions for the needs of PwVI. Preliminary application of the heuristic demonstrated its feasibility to enrich routes with relevant attributes and differentiate trajectories according to their accessibility conditions. The findings suggest that the proposed approach contributes to more inclusive navigation systems and highlights the need for future work involving full heuristic implementation, field testing, and user-centered evaluations.

Keywords

assistive navigation, urban accessibility, visual impairment, pedestrian routing, accessibility heuristics

1 Introdução

A mobilidade é um fator central para o exercício da cidadania e para que as pessoas possam realizar com dignidade as atividades do cotidiano. Entretanto, pessoas com deficiência visual (PcDV) enfrentam desafios específicos em ambientes urbanos, como a ausência de calçamento, piso tátil inadequado e obstáculos imprevistos, que prejudicam sua autonomia e limitam sua inserção plena na vida comunitária [1, 2].

Aplicativos de navegação, tanto generalistas (por exemplo, o *Google Maps*¹) quanto assistivos (tais como, o *Lazarillo*² e o *WeWalk*³), fornecem instruções por voz e informações básicas sobre o ambiente. Contudo, esses sistemas não incorporam dados sobre barreiras

urbanas nem priorizam caminhos com infraestrutura acessível, o que reduz sua eficácia para PcDV.

Com a crescente disponibilidade de dados georreferenciados, sensores móveis e interfaces de programação de aplicações (API) de roteamento orientadas ao deslocamento de pedestres, torna-se possível desenvolver soluções que priorizem trajetos mais adequados às necessidades de acessibilidade das PcDV.

Nesse contexto, o objetivo desta pesquisa foi desenvolver uma abordagem de navegação assistiva para PcDV, composta pela modelagem de uma heurística de acessibilidade e pela prototipação de um aplicativo que incorpora parte dessa heurística.

2 Fundamentação Teórica

As PcDV enfrentam desafios significativos durante a locomoção, entre eles a dificuldade de detectar obstáculos, a ausência de informações contextuais e a falta de orientações de navegação em tempo real [3]. Embora tecnologias assistivas tradicionais, como a bengala longa, auxiliem na percepção tátil imediata, elas não fornecem informações antecipadas sobre o ambiente — tais como a localização de cruzamentos, a presença de barreiras fora do alcance tátil, a continuidade das calçadas ou a configuração geral da rota — e, assim, tornam-se insuficientes para orientar deslocamentos em trajetos desconhecidos [4, 5].

A falta de conhecimento prévio sobre o ambiente expõe as PcDV a maior risco de acidentes, o que frequentemente leva muitas delas a evitar ambientes desconhecidos [6]. Já quando recebem suporte contextual adequado, essas pessoas se sentem mais confiantes e autônomas, o que amplia sua disposição para explorar novos espaços [7].

Nesse contexto, a noção de legibilidade do ambiente [8] destaca a relevância de elementos arquitetônicos e sensoriais — como escadas, pisos, texturas, marcos sonoros, odores e até a direção do vento — na construção de mapas mentais e na orientação espacial [9, 10]. Apesar disso, a maioria dos aplicativos de navegação assistida não considera adequadamente essas características, nem prioriza infraestrutura acessível a pedestres, além de não oferecer alternativas que evitem barreiras urbanas [11, 12].

Diante dessas limitações, os avanços tecnológicos permitem que tecnologias assistivas tradicionais evoluam para tecnologias assistivas inteligentes, explorando dados de dispositivos móveis e recursos de inteligência artificial para fornecer suporte dinâmico às pessoas com deficiência, monitorando as condições do ambiente e

¹<https://www.google.com/maps>

²<https://lazarillo.app/>

³<https://wewalk.io>

personalizando as instruções conforme as necessidades individuais [13].

Aplicadas à navegação assistiva, essas tecnologias possibilitam ajustar as rotas de acordo com as necessidades individuais do usuário e com as características do ambiente. No caso das PcDV, por exemplo, certos elementos visuais ainda podem funcionar como referência para pessoas com baixa visão, enquanto podem ser irrelevantes para pessoas cegas — o que evidencia a importância de adaptar as orientações ao perfil sensorial de cada usuário. Dessa forma, um aplicativo de navegação assistiva voltado a PcDV deve fornecer informações contextuais, rotas ajustadas ao usuário, interface acessível e mecanismos de adaptação sensorial [6, 14].

3 Metodologia

O desenvolvimento da pesquisa está dividido em quatro fases: (i) mapeamento *in loco* das condições de acessibilidade em áreas selecionadas; (ii) avaliação de aplicativos e API voltadas ao roteamento de pedestres; (iii) modelagem da heurística de custo que prioriza critérios de acessibilidade; e (iv) prototipação de um aplicativo de navegação assistiva que incorpora parte da heurística proposta.

3.1 Mapeamento *in loco*

Foram selecionadas aleatoriamente três áreas na cidade de Campo Grande/MS, cada uma com aproximadamente 1 km², para o mapeamento *in loco*. Os pesquisadores percorreram essas áreas e catalogaram itens de barreira e itens de referência, os quais podem, respectivamente, dificultar ou auxiliar a locomoção de PcDV.

A identificação desses itens foi realizada com base na norma brasileira (NBR) 16537 [15] e em condições observáveis do ambiente urbano que afetam a circulação de pedestres, tais como veículos estacionados sobre a calçada, entulho depositado e outras obstruções, além de elementos perceptíveis sem o uso da visão que possam servir como referência para a orientação espacial da PcDV. Para cada ocorrência registrada, registraram-se as coordenadas geográficas (latitude e longitude), o tipo do item e uma descrição qualitativa.

3.2 Avaliação de aplicativos e API

Foram testados os aplicativos *Google Maps*, *Lazarillo* e *WeWALK* em três rotas-teste selecionadas com base em estudo anterior [16]. Cada aplicativo foi utilizado por três pesquisadores, cada qual responsável por percorrer uma das rotas-teste.

A avaliação foi conduzida a partir de uma abordagem orientada à navegação de pedestres, estruturada em quatro dimensões:

- Representação do ambiente urbano:** verificação se as rotas consideram calçadas como vias navegáveis, distinguem áreas de passeio de vias destinadas a veículos e reconhecem elementos como travessias, escadas e passarelas;
- Sensibilidade a barreiras:** análise se o sistema detecta ou ignora obstáculos presentes no ambiente, incluindo discontinuidades de calçadas, bem como de sua capacidade de alertar ou evitar trechos reconhecidamente problemáticos;
- Qualidade das instruções de navegação:** avaliação da compatibilidade das instruções com o deslocamento a pé, considerando o uso de referências espaciais claras e a ausência de orientações ambíguas (por exemplo, “siga por 200 m”);

- Oferta de informações contextuais:** verificação da presença de pontos de referência, marcos urbanos relevantes ou descrições adicionais do ambiente que possam auxiliar o usuário na compreensão do trajeto e na orientação espacial.

Além dos aplicativos, avaliaram-se as API de roteamento *Bing*, *HERE*, *MapBox*, *OSRM*, *GraphHopper*, *OpenRouteService* e *Valhalla*. Essas API foram analisadas quanto à capacidade de:

- Traçar rotas pelas áreas de passeio — compreendendo calçadas, passarelas e corredores públicos para circulação de pedestres;
- Identificar pontos de travessia e faixas de pedestres;
- Fornecer instruções direcionais adequadas ao deslocamento a pé;
- Disponibilizar atributos adicionais do ambiente relevantes para o roteamento.

3.3 Modelagem da heurística de custo

Considerando a hipótese de que as API de roteamento disponíveis não contemplam, de forma explícita, critérios de acessibilidade relevantes para a locomoção de PcDV, desenvolveu-se uma heurística própria para avaliar e comparar as rotas por elas geradas, incorporando atributos ambientais e estruturais associados à acessibilidade.

A heurística combina múltiplos fatores para estimar um *custo de acessibilidade* para cada segmento da rota, inspirada em metodologia descrita na literatura [17].

Os dados utilizados na heurística são provenientes de duas fontes: (i) informações fornecidas pela API de roteamento; e (ii) dados das barreiras e referências sensoriais obtidos no mapeamento *in loco*, descrito na Seção 3.1.

3.4 Prototipação do aplicativo de navegação assistiva

O protótipo foi desenvolvido utilizando *React Native* para o *front-end*, *Node.js* para o *back-end*, a API *Valhalla* como serviço de roteamento, o *OpenStreetMap* como serviço de mapas e o sistema gerenciador de banco de dados *PostgreSQL*. Além disso, implementou-se parcialmente a heurística proposta, com o objetivo de verificar sua integração prática com a API selecionada e avaliar sua viabilidade operacional no contexto do aplicativo.

4 Resultados e Discussão

Nesta seção, apresentam-se os resultados obtidos nas diferentes etapas da pesquisa, incluindo a caracterização das condições de acessibilidade urbana, a avaliação dos aplicativos de navegação e das API de roteamento, bem como os resultados iniciais da aplicação da heurística proposta.

4.1 Caracterização das condições de acessibilidade urbana

Nas três áreas avaliadas no mapeamento *in loco*, considerando os elementos identificados que impactam a locomoção das PcDV, observou-se maior incidência de barreiras ($n = 89$) em relação aos itens de referência ($n = 42$). A Figura 1 ilustra a distribuição espacial dos elementos mapeados em uma das áreas analisadas.

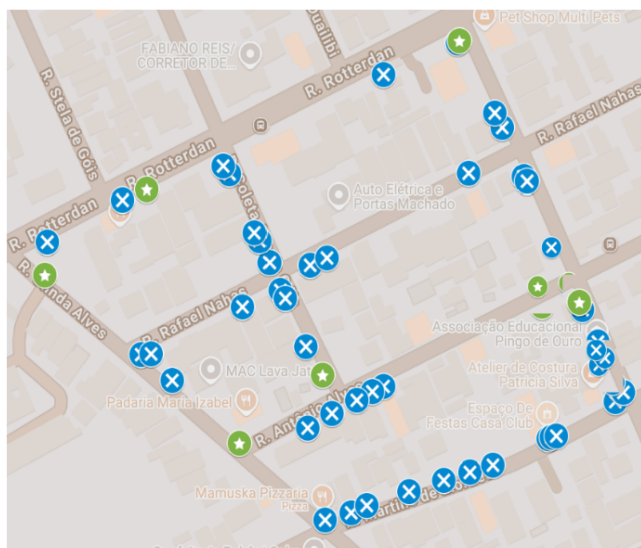


Figura 1: Mapa de uma área analisada, com a distribuição dos elementos identificados: cada marcador representa uma barreira (ícones de X) ou um item de referência (ícones de estrela). (Fonte: Os autores)

As barreiras mais recorrentes foram a ausência de calçamento ($\approx 35\%$), a presença de vegetação que obstrui a área de passagem ($\approx 20\%$) e a inexistência ou instalação inadequada de piso tátil ($\approx 18\%$).

Em relação aos itens de referência, identificaram-se elementos como postes, árvores, placas de sinalização de trânsito, lixeiras e pontos de ônibus, que podem ser percebidos com o uso da bengala longa e utilizados por PcDV como confirmação de sua localização ao longo do trajeto. Destaca-se ainda o piso de sinalização tátil que, além de atuar como elemento de referência para a locomoção, pode indicar localizações específicas quando instalado corretamente, conforme a NBR 16537, a qual estabelece a aplicação de pisos de alerta em situações como antes de travessias de pedestres, em mudanças de direção, no encontro de rotas acessíveis, entre outras.

A maioria dos elementos identificados é composta por itens permanentes da infraestrutura urbana, os quais podem ser mapeados previamente e utilizados na construção de uma base de dados. Entretanto, também foram observados casos de barreiras temporárias, presentes de forma circunstancial no ambiente, como veículos estacionados na área de passeio e resíduos depositados sobre a calçada, conforme ilustrado na Figura 2.

Esses resultados evidenciam a complexidade das condições de acessibilidade presentes no ambiente urbano e a predominância de barreiras que impactam diretamente a locomoção de PcDV. Diante desse cenário, torna-se relevante analisar em que medida os aplicativos de navegação e as APIs de roteamento incorporam e fornecem informações relacionadas às condições das rotas por eles traçadas. A subseção a seguir apresenta os resultados da avaliação de aplicativos de navegação e API de roteamento, considerando aspectos relevantes para o deslocamento de pedestres.



Figura 2: Registro da área mapeada, evidenciando a presença de resíduos bloqueando a área de passeio. (Fonte: Os autores)

4.2 Avaliação dos aplicativos de navegação

Em relação à representação do ambiente urbano, observou-se que os aplicativos avaliados - *Google Maps*, *Lazarillo* e *WeWALK* - traçaram as rotas predominantemente com base em vias destinadas a veículos. As rotas apresentaram apenas ajustes mínimos para o deslocamento a pé, sem priorização sistemática de calçadas, passarelas ou travessias sinalizadas.

Como consequência dessa representação, os aplicativos não demonstraram sensibilidade a barreiras ou a problemas da infraestrutura urbana relevantes ao deslocamento de pedestres, não sendo observadas notificações ou adaptações de rota relacionadas a obstáculos, descontinuidades de calçadas ou obstruções temporárias.

A principal distinção entre os aplicativos esteve relacionada às instruções de navegação. O *Google Maps* utilizou predominantemente orientações baseadas em direções cardinais, enquanto o *WeWALK* forneceu comandos espaciais diretos, como “vire à direita” ou “vire à esquerda”. O *Lazarillo*, por sua vez, empregou a orientação da bússola do dispositivo para informar o desvio angular em relação à direção correta, facilitando o alinhamento inicial do usuário com a rota.

Quanto à oferta de informações contextuais, os aplicativos limitaram-se às instruções de navegação, com exceção ao *Lazarillo*, que apresentou informações sobre pontos de interesse ao longo do trajeto, as quais podem atuar como referências auxiliares para usuários com familiaridade prévia com o ambiente.

Esses resultados evidenciam limitações na representação do ambiente urbano e no suporte ao deslocamento de pedestres, associadas aos serviços de roteamento utilizados pelos aplicativos. A subseção seguinte apresenta a avaliação das APIs de roteamento, com foco em suas capacidades e restrições no contexto do deslocamento a pé.

4.3 Avaliação das API de roteamento para pedestres

A avaliação das API de roteamento foi conduzida em duas etapas. Na primeira, verificou-se a capacidade dos serviços em traçar rotas utilizando calçadas e corredores de circulação de pedestres, nas mesmas rotas utilizadas na avaliação dos aplicativos. Nessa etapa, as API *Bing Maps* e *HERE Maps* foram descartadas por não apresentarem suporte a esse tipo de roteamento, restringindo-se às vias destinadas a veículos.

Na segunda etapa, analisaram-se as API remanescentes quanto à geração de rotas em outras localizações e às instruções de navegação fornecidas ao usuário. Um resumo dos resultados obtidos é apresentado na Tabela 1.

Os resultados indicam que nenhuma das API avaliadas foi capaz de gerar todas as rotas utilizando exclusivamente calçadas como referência. Essa limitação pode ser atribuída, principalmente, a dois fatores: (i) lacunas no mapeamento prévio da infraestrutura destinada a pedestres nos serviços de roteamento; e (ii) regras internas de roteamento que priorizam a via de rolamento, mesmo quando a calçada se encontra devidamente mapeada. A Figura 3 ilustra um exemplo de rota associada ao segundo fator.



Figura 3: Rota traçada com a API Valhalla: desviando para a pista de rolamento (área em destaque sem pontilhado), apesar da calçada mapeada (linha pontilhada). (Fonte: Os autores)

Entre as API analisadas, o *Valhalla* destacou-se por ser o único serviço a indicar, ainda que de forma parcial, a necessidade de travessia de vias, bem como a presença de faixas de pedestres e escadas de acesso. Embora essas informações não estejam disponíveis de maneira consistente em todas as rotas, sua inclusão representa um diferencial relevante no contexto da navegação de pedestres. Por esse motivo, o *Valhalla* foi selecionado para a continuidade da pesquisa, por apresentar maior potencial de integração com critérios de acessibilidade e melhor suporte às instruções voltadas ao deslocamento de pedestres.

4.4 Modelagem da heurística de custo

A heurística proposta baseia-se em um processo de enriquecimento semântico das rotas, no qual informações coletadas *in loco* - barreiras urbanas e itens de referência sensorial - são associadas aos trechos da rota fornecida pela API de roteamento. O objetivo desse enriquecimento é atribuir significado aos segmentos, permitindo distinguir trechos com implicações distintas para a mobilidade de PcDV. Dessa forma, a rota deixa de ser interpretada apenas como

uma sequência de coordenadas e passa a incorporar aspectos funcionais relacionados à acessibilidade.

Além da integração de dados externos, propõe-se uma análise estrutural das rotas geradas pela API com o objetivo de extrair atributos semânticos diretamente de sua geometria. A API não fornece informações detalhadas sobre aspectos importantes para a navegação de pedestres, como o número e o tipo de travessias, nem sobre o formato do trajeto — se ele é mais reto ou apresenta muitas curvas. Assim, para cada rota, identificam-se eventos de travessia, classificam-se as mudanças de direção, o tipo de interseção e contabilizam-se as variações relevantes de orientação. Esses atributos, derivados da própria estrutura da rota, compõem uma segunda camada semântica essencial para o cálculo de custo.

A heurística tem como propósito atribuir um valor de custo à rota, possibilitando sua comparação com rotas alternativas e favorecendo a seleção daquela que melhor atende às necessidades do usuário. A métrica proposta combina cinco atributos ponderados, permitindo ajustar a ênfase de cada fator conforme o perfil do usuário:

$$C_{rota} = w_d \cdot D + w_b \cdot B + w_r \cdot R + w_t \cdot T + w_c \cdot C,$$

onde:

- D — distância total do trajeto;
- B — penalização decorrente da presença de barreiras urbanas;
- R — bonificação pela existência de referências sensoriais detectáveis ao longo da rota;
- T — custo associado às travessias necessárias, ponderado por seu nível de segurança;
- C — custo relativo à complexidade de manobras, considerando mudanças de direção e exigência de reorientação espacial;
- w_i — pesos ajustáveis atribuídos a cada atributo.

A aplicação da heurística sobre rotas alternativas permite diferenciar trajetos equivalentes em distância, mas distintos quanto à acessibilidade, resultando em uma priorização mais alinhada às demandas de mobilidade de PcDV.

A subseção seguinte apresenta o protótipo desenvolvido, no qual parte da heurística foi incorporada à rotina de processamento das rotas fornecidas pela API selecionada, demonstrando sua aplicação prática no contexto da navegação assistiva para PcDV.

4.5 Prototipação do aplicativo de navegação assistiva

Com base na API de roteamento selecionada e na heurística proposta, desenvolveu-se um protótipo funcional do aplicativo de navegação assistiva com a finalidade de verificar, em ambiente controlado, a viabilidade de integração entre a rota gerada pelo *Valhalla* e os atributos de acessibilidade enriquecidos pela heurística. O protótipo implementa parcialmente o modelo heurístico, aplicando-o sobre as rotas geradas para fornecer ao usuário informações adicionais sobre as condições do trajeto.

Foram implementados os componentes de identificação de barreiras e itens de referência. Para isso, os registros dos elementos mapeados *in loco* foram inseridos em uma base de dados *PostgreSQL*, armazenando, para cada registro, as coordenadas geográficas (latitude e longitude) e o tipo do item. Durante a geração da rota,

Tabela 1: Avaliação das API de roteamento quanto a critérios relevantes para navegação de pedestres

Critério	GraphHopper	Valhalla	OpenRouteService	OSRM	MapBox
Utiliza calçadas como referência em todas as rotas	Não	Não	Não	Não	Não
Indica necessidade de travessia da via	Não	Sim	Não	Não	Não
Identifica elementos da infraestrutura para pedestre	Não	Faixa / Escadas	Não	Não	Faixa

a aplicação consulta essa base de dados com o objetivo de verificar a ocorrência de elementos mapeados que intersectam ou se encontram associados aos segmentos da rota.

O fluxo principal do aplicativo consiste nas seguintes etapas:

- Obtenção da localização atual do usuário por meio do GPS do *smartphone*, estabelecendo o ponto de origem da rota;
- Inserção manual do endereço de destino pelo usuário;
- solicitação da rota à API *Valhalla*, utilizando parâmetros configurados para navegação de pedestres;
- Recepção, por parte do aplicativo, da sequência de coordenadas que compõem a rota retornada pela API;
- Realização da interseção entre as coordenadas da rota e os elementos mapeados em campo (barreiras e itens de referência), identificando quais deles incidem sobre cada segmento;
- Aplicação parcial da heurística proposta, calculando o custo de acessibilidade da rota com base nos fatores implementados na versão atual do protótipo;
- apresentação da rota ao usuário, destacando visualmente os elementos identificados e exibindo o custo final estimado.

A Figura 4 apresenta uma comparação entre a rota original fornecida pela API *Valhalla* e a rota enriquecida pelo protótipo, após a integração dos dados coletados *in loco* e do cálculo heurístico. A rota enriquecida destacou pontos críticos e referências sensoriais não representados na rota original, evidenciando o potencial da heurística para qualificar a navegação.

4.6 Discussão

Os resultados evidenciaram limitações importantes nos aplicativos e nas API avaliadas, sobretudo pela ausência de informações sobre a infraestrutura destinada aos pedestres e pela priorização sistemática das vias de rolamento no processo de roteamento. Esse comportamento contrasta com as condições observadas no mapeamento *in loco*, que revelou a predominância de barreiras urbanas e a irregularidade da área de passeio, elementos que impactam diretamente o deslocamento de PcDV.

A análise das API mostrou que, embora algumas ofereçam atributos pontuais relevantes, como indicação de travessias ou escadas, nenhuma delas representa integralmente a estrutura do ambiente para os pedestres. Nesse cenário, o enriquecimento das rotas com dados ambientais demonstrou-se necessário para caracterizar adequadamente cada segmento do trajeto.

A aplicação parcial da heurística no protótipo permitiu integrar informações externas às rotas geradas pela API, possibilitando a identificação de trechos com diferentes condições de acessibilidade. Esses resultados mostram que a combinação entre dados mapeados e análise estrutural da rota pode fornecer uma leitura mais detalhada

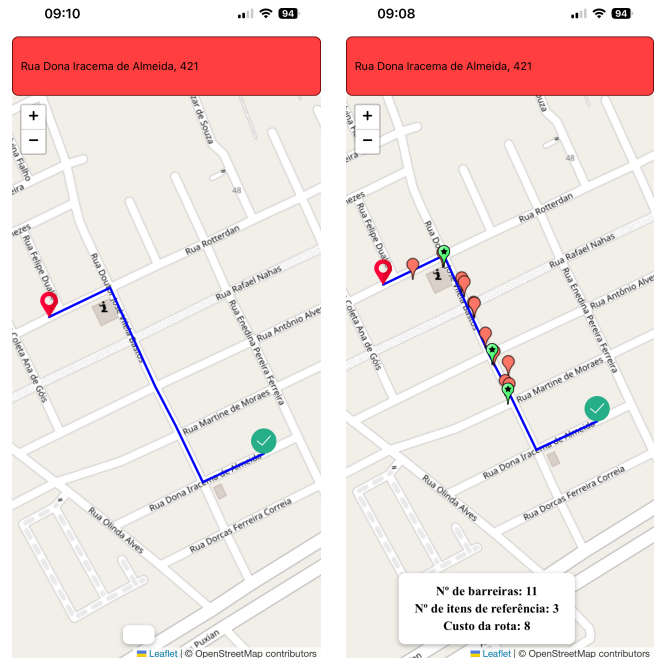


Figura 4: Mapas gerados pelo aplicativo: à esquerda, rota baseada apenas na API *Valhalla*; à direita, rota enriquecida com dados coletados em campo e cálculo heurístico. (Fonte: Os autores)

do trajeto, evidenciando aspectos que não são contemplados pelos serviços de roteamento convencionais.

5 Conclusão

Este trabalho apresentou uma abordagem de navegação assistiva voltada a PcDV, fundamentada na proposição e modelagem de uma heurística destinada a suprir limitações observadas nas soluções de navegação existentes para o deslocamento de pedestres. As lacunas identificadas nesses sistemas, somadas às condições verificadas em campo, evidenciam a necessidade de estratégias adicionais para caracterizar adequadamente a acessibilidade das rotas, especialmente no contexto das PcDV.

A heurística proposta mostrou-se promissora ao permitir a associação de atributos ambientais e estruturais aos segmentos da rota, possibilitando a identificação de trechos potencialmente mais adequados à mobilidade desse público. A implementação parcial dessa heurística no protótipo desenvolvido demonstrou a viabilidade de integrar dados externos às rotas fornecidas pela API selecionada,

ampliando a capacidade de leitura e interpretação das condições do trajeto por parte do usuário.

Como perspectivas de trabalhos futuros, destacam-se: (i) a implementação completa da heurística, incorporando todos os atributos modelados e possibilitando a comparação entre múltiplas rotas alternativas; (ii) a realização de testes em campo com usuários reais, a fim de avaliar a adequação dos pesos atribuídos e a efetividade dos critérios utilizados; (iii) a condução de estudos de usabilidade com PcDV, para ajuste da interface, validação da utilidade das informações apresentadas e aprimoramento da orientação espacial; e (iv) a investigação de estratégias de coleta colaborativa de dados, visando ampliar e atualizar continuamente a base de barreiras e referências do ambiente urbano.

Espera-se que o avanço dessas etapas contribua para o desenvolvimento de sistemas de navegação assistiva mais sensíveis às condições reais das áreas de passeio e mais alinhados às necessidades das PcDV.

Agradecimentos

Agradecemos à Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT) pelo apoio à realização deste trabalho, bem como ao Instituto Federal de Mato Grosso do Sul pelo apoio financeiro para participação no XVII Computer on the Beach.

Referências

- [1] J. R. Marston. *Toward an accessible city: Empirical measurement and modeling of access to urban opportunities for people with disabilities*. PhD thesis, University of California, Santa Barbara, Santa Barbara, CA, 2002.
- [2] A. D. P. Santos, R. Oliveira, M. Araujo, and L. Gomes. Tecnologia assistiva para pessoas com deficiência visual: Uma análise da produção tecnológica no Brasil. *Cadernos de Prospecção*, 11(5):1481–1494, 2018.
- [3] W. Nawaz, K. U. Khan, and K. Bashir. A review on path selection and navigation approaches towards an assisted mobility of visually impaired people. *KSI Transactions on Internet and Information Systems*, 14(8):3315–3334, 2020.
- [4] W. Elmannai and K. Elleithy. A comprehensive review of sensory substitution devices for the visually impaired. *Multimedia Tools and Applications*, 76:15053–15074, 2017.
- [5] S. Slade, M. Tambe, and M. J. Kochenderfer. Decision-making support for visually impaired navigation using POMDPs. *Artificial Intelligence*, 301, 2021.
- [6] H. A. Karimi, M. B. Dias, J. Pearlman, and G. J. Zimmerman. Wayfinding and navigation for people with disabilities using social navigation networks. *EAI Endorsed Transactions on Collaborative Computing*, 1(2), 2014.
- [7] A. T. Parker, A. Scott, and A. Jakubowski. Wayfinding tools for people with visual impairments in real-world settings: A literature review. *Frontiers in Education*, 6, 2021.
- [8] R. Golledge. Human wayfinding and cognitive maps. In S. M. Freundschuh and M. Egenhofer, editors, *Cognitive Mapping: Past, Present and Future*. Routledge, London, UK, 2004.
- [9] A. Benabidvw and S. Alzuhair. Cognitive mapping for visually impaired navigation: Using environmental cues to enhance spatial understanding. *Journal of Assistive Technologies*, 8(2):70–82, 2014.
- [10] D. Abate and D. C. C. K. Kowaltowski. A contribuição dos estímulos sensoriais na percepção do ambiente construído. *Revista Educação Gráfica*, 21(3):30–45, 2017.
- [11] M. T. Françoso and N. C. Mello. Influência dos aplicativos de smartphones para transporte urbano no trânsito. In *Proceedings of the Congresso Luso-Brasileiro PLURIS*, 2016.
- [12] N. Kobie. Why Google maps and citymapper are terrible for walking directions. *Wired*, 2019. Disponível em: <https://www.wired.com/> (Acessado em: 11 dez. 2025).
- [13] M. Ienca, M. Fabrizio, and B. Elger. Intelligent assistive technologies for people with cognitive disabilities: An overview of ethical issues. *AI & Society*, 32(2):1–12, 2017.
- [14] M. C. Rodriguez-Sanchez and J. Martinez-Romo. Visual assistive technologies for the blind: A survey. *Expert Systems with Applications*, 133:181–199, 2017.
- [15] Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. *NBR 16357*, jun. 2016.
- [16] L. F. D. Lomba. *Desenvolvimento de tecnologia assistiva inteligente, utilizando trajetórias semânticas, para auxiliar pessoas com deficiência visual nos ambientes da universidade*. PhD thesis, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2024.
- [17] S. Cohen A., Dalyot. Route planning for blind pedestrians using openstreetmap. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 48(6):1511–1526, 2021.