

Avaliando um Serviço Personalizado de Roteamento Multicritério e Multimodal para Cidades Inteligentes

Camilo Santos¹, Matheus Brito¹, Eduardo Cerqueira¹ e Denis Rosário¹

¹Universidade Federal do Pará (UFPA) – Belém – Pará – Brazil

camilo.santos@icen.ufpa.br, matheus.moraes.brito@itec.ufpa.br,
{cerqueira, denis}@ufpa.br

Abstract. *As the demand for urban mobility grows, more services are emerging that offer routing and route suggestions. However, these services often focus only on travel time or distance, leaving users' individual preferences aside. This study presents an innovative route selection system that is multimodal and personalized, considering user preferences, vehicle emissions, and associated costs. This approach seeks to identify route options that are economical, fast, and safe, highlighting the inclusion of a variety of transport modes to meet the needs of both drivers and passengers.*

Resumo. *À medida que a demanda por mobilidade urbana cresce, surgem mais serviços que oferecem roteamento e sugestões de trajetos. No entanto, esses serviços geralmente se concentram apenas no tempo ou na distância da viagem, deixando de lado as preferências individuais dos usuários. Este estudo apresenta um sistema inovador de seleção de rotas que é multimodal e personalizado, levando em consideração as preferências dos usuários, as emissões dos veículos e os custos associados. Essa abordagem busca identificar opções de rotas que sejam econômicas, rápidas e seguras, destacando-se pela inclusão de uma variedade de modos de transporte para atender às necessidades tanto de condutores quanto de passageiros.*

1. Introdução

Atualmente, o setor de transporte nos grandes centros urbanos enfrenta problemas desafiadores, causados pelo aumento do congestionamento e o possível colapso do sistema devido ao uso intencional de veículos particulares e serviços de transporte por aplicativo [Afrin and Yodo 2020]. Este cenário resulta na predominância de carros particulares nas ruas das grandes cidades, o que, por sua vez, contribui para a elevação das emissões de gases de efeito estufa, principalmente devido à dependência desses veículos em motores de combustão interna. De forma significativa, o dióxido de carbono (CO_2) corresponde a 75% das emissões originadas por veículos, contribuindo para problemas de saúde entre a população urbana devido à exposição a poluentes, tais como dióxido de nitrogênio (NO_2), dióxido de enxofre (SO_2), monóxido de carbono (CO) e partículas finas, que são subprodutos resultantes da queima de combustíveis fósseis.

A disparidade nos meios de transporte urbanos, com predominância de veículos particulares sobre modos alternativos menos poluentes, exige um equilíbrio para maximizar a eficiência da infraestrutura urbana, reduzir congestionamentos e promover opções de deslocamento econômicas, rápidas e sustentáveis [Hörcher and Tirachini 2021]. As iniciativas de cidades inteligentes surgem como soluções promissoras, oferecendo tecnologias que facilitam a escolha de rotas com menor impacto ambiental. Estas incluem o uso de

sensores para monitorar emissões e redes sociais baseadas em localização para otimizar a mobilidade urbana, contribuindo significativamente para a melhoria da qualidade de vida nas cidades ao proporcionar acesso a alternativas de transporte mais eficientes e menos poluentes.

As Redes Sociais baseadas em Localização (LBSN) desempenham um papel crucial na obtenção de dados confiáveis sobre a mobilidade dos usuários, permitindo a sugestão de rotas que beneficiam múltiplos usuários. Através do compartilhamento de localização nas redes sociais, é possível coletar informações precisas sobre o deslocamento urbano dos usuários, facilitando a recomendação de rotas eficientes. Exemplos de redes sociais que utilizam esse rastreamento incluem o Twitter e o Foursquare.

Este trabalho apresenta uma avaliação de um serviço roteamento multimodal para cidades inteligentes, proporcionando aos usuários opções de trajetos que são tanto econômicos quanto ecológicos. Para isso, utiliza-se informações geolocalizadas provenientes para determinar pontos de origens e destinos reais. A escolha das rotas é feita através do Processo Analítico Hierárquico (AHP), considerando-se os diferentes parâmetros das rotas e as preferências dos usuários, e inclui modos de transporte variados como carros, ônibus e bicicletas. Os resultados indicam que a adoção dessas soluções pode levar a uma otimização de 20% a 40% na escolha de trajetos mais equilibrados, além de uma redução de 30% a 40% no tempo, custo e emissões de poluentes no transporte urbano, em comparação com rotas que seguem critérios isolados.

Este documento está estruturado da seguinte maneira: a Seção 2 descreve sobre trabalhos relacionados, expondo suas vantagens e desvantagens. A Seção 3 seguinte detalha o serviço de roteamento multimodal proposto. Depois, a Seção 4 apresenta e analisa os resultados alcançados pela solução proposta. Por fim, a Seção 5 apresenta as conclusões e trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

O estudo da mobilidade urbana através das LBSN e de diversos *frameworks* revela a possibilidade de enriquecer a experiência de deslocamento. No entanto, muitos desses métodos focam apenas em elementos específicos, como padrões de movimento, sem incorporar fatores de poluição ou as preferências dos usuários. Soluções como o SMAFramework e os sistemas de roteamento multimodal priorizam a eficácia do trajeto, mas desconsideram efeitos no meio ambiente e a personalização das rotas. As técnicas para estimativa da poluição do ar são limitadas pela necessidade de equipamentos específicos e não integram a mobilidade de maneira abrangente. A pesquisa atual enfatiza a necessidade de unir dados de mobilidade, preferências dos usuários e dados sobre emissões em uma perspectiva inclusiva, visando a escolha de trajetos que reduzam a poluição e promovam o bem-estar urbano. Esse conjunto de desafios e limitações das propostas atuais é meticulosamente analisado e comparado nas referências listadas na Tabela 1, ressaltando a urgência por uma solução conjunta que aborde todos esses aspectos de forma simultânea.

Tabela 1. Comparação das Características de Trabalhos Relacionados

Artigo	Uso de Dados LBSN	Roteamento Multimodal	Seleção Multicritério	Parâmetro de Emissão
[Ferreira et al. 2020]	✓			
[Rodrigues et al. 2018b]	✓	✓		
[Rodrigues et al. 2018a]	✓			
[Kalajdjieski et al. 2020]				✓
[Zou et al. 2020]				✓
[Brito et al. 2023]		✓	✓	✓
Metodologia Proposta	✓	✓	✓	✓

Dentre os trabalhos da literatura analisados, os trabalhos de [Ferreira et al. 2020] e [Rodrigues et al. 2018b] utilizam dados provenientes de LBSNs para identificar e categorizar o padrão de mobilidade de diferentes perfis de usuários, determinando os maiores pontos de fluxos e gerando rotas multimodais entre esses fluxos através de APIs.

Por outro lado, [Rodrigues et al. 2018a] propõe o SMAFramework para o manuseio de dados de mobilidade urbana de múltiplas fontes em um modelo de dados unificado para comparação. O trabalho de [Kalajdjieski et al. 2020] calcula a predição de poluição do ar utilizando redes neurais convolucionais (CNNs) e câmeras de vídeo, apresentando solução para somente uma das quatro características propostas.

Em relação ao planejamento de rotas, [Zou et al. 2020] propõe um método que objetiva evitar áreas com maior risco de exposição à poluição aérea, promovendo rotas mais saudáveis. Além disso, [Brito et al. 2023] utiliza APIs e o método AHP para a geração de roteamento multicritério e multimodal.

Dessa forma, o trabalho proposto unifica os pontos fortes das ideias apresentadas em uma única metodologia, integrando a utilização de dados provenientes de LBSNs para análise da mobilidade e a geração de roteamento multicritério e multimodal, juntamente com uma análise de emissão de gases poluentes.

3. Serviço de Roteamento Multimodal Personalizado

Esta seção descreve a metodologia utilizada que se integra às rotas urbanas multimodais híbridas existentes. A introdução do método de cálculo de emissões sugerido pode oferecer *insights* novos para a avaliação de emissões em áreas específicas, onde se coleta dados de localização dos usuários e calcula-se e quantifica-se as emissões de CO_2 para diferentes modais selecionados na geração das rotas. A Figura 1 ilustra as várias fases do processo de criação de rotas urbanas multimodais híbridas e sua conexão com a estimativa das principais emissões de gases de efeito estufa apresentadas neste estudo.

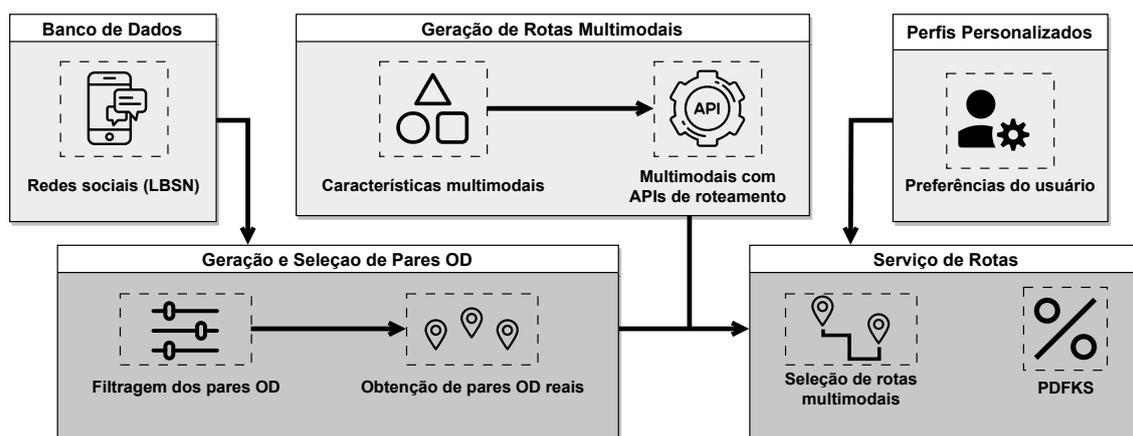


Figura 1. Visão geral do serviço de roteamento multimodal personalizado

As etapas correspondentes a metodologia de roteamento multimodal urbano proposto são descritas ao longo desta seção. A etapa de “Redes sociais (LBSN)” está descrita na Subseção 3.1, descrevendo a coleta e o processamento de dados provenientes de LBSNs. As etapas de “Filtragem dos pares OD” e “Obtenção de pares OD reais” também estão descritas na Subseção 3.1, onde a metodologia de filtragem e obtenção de pares origem e destino (OD) são apresentadas. As etapas de “Características multimodais” e “Multimodais com APIs de roteamento”, ambas descritas na Subseção 3.2, especificam

a relação entre a abordagem de emissões e precificação das rotas com a metodologia de roteamento urbano híbrido, assim como a utilização de APIS de roteamento para geração de rotas reais.

As etapas de “Preferências do usuário” e “Seleção de rotas multimodais” descritas na Subseção 3.3, apresentam os pesos atribuídos aos múltiplos parâmetros das rotas de cada perfil gerado, junto com a utilização do método AHP para a escolha de rotas por perfil. Por fim, a Seção 4 descreve a etapa do “PDFKS”, que diz respeito a utilização do Desvio Percentual de um Padrão Conhecido (PDFKS) na avaliação das rotas selecionadas por perfil.

3.1. Geração de Pares OD

O serviço desenvolvido permite a escolha arbitrária dos dados geolocalizados utilizados como entrada, visto que o serviço é aplicável em múltiplos cenários urbanos, focando na usabilidade de usuários e planejadores urbanos. A disposição dos dados está no formato de *timestamp*, diferenciando as coordenadas de origem e destino. Cada ponto de dados geolocalizado inclui uma identificação anônima do usuário, assegurando a proteção das informações. É a precisa definição da dimensão espaço-tempo em relação ao usuário que determina a validade das viagens urbanas.

Definimos a utilização de LBSN com *check-ins* do serviço *Foursquare*, contendo as coordenadas e informação de data/hora, juntamente com o registro anônimo dos usuários. Tal ferramenta conta com os elementos necessários para uma análise prática do tráfego urbano [Rodrigues et al. 2019]. Considerando a cobertura limitada registrada no conjunto de dados, optou-se por utilizar apenas a área urbana de Chicago, no estado de Illinois nos Estados Unidos, para a análise completa.

A análise e classificação dos padrões de deslocamento dos usuários foram conduzidas através da mineração de dados previamente selecionados. Utilizamos os dados brutos fornecidos pela API do *Foursquare*, os quais foram posteriormente organizados e filtrados. Esse processo envolveu a comparação com registros de deslocamentos válidos em dias correspondentes, incorporando informações sobre a distância percorrida, variações de horário e velocidade. Tais critérios são essenciais para a correta validação de padrões de viagens urbanas.

3.2. Geração de Rotas Multimodais

Para a construção das alternativas das rotas em cada opção de modal, foram definidos 4 fatores atribuídos as rotas para a realização da seleção, a duração, distância, emissão e preço. Após a determinação dos fatores, a preferência dos perfis é combinada com os valores dos atributos atribuídos as rotas para obtenção da melhor rota.

A seleção de um meio de transporte é significativamente influenciada por fatores como duração (p_d), distância (p_l), emissões de CO_2 e custos. Esses elementos afetam diretamente aspectos como o tempo de deslocamento, o consumo de combustível e os custos relacionados, o impacto das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no meio ambiente, bem como as despesas financeiras do usuário [HERE 2023, IPCC and Houghton 1996]. Informações sobre a duração e a distância das viagens são acessíveis através de APIs, por exemplo, da HERE Maps. Por outro lado, as emissões de CO_2 podem ser calculadas utilizando as orientações do IPCC e abordagens metodológicas específicas. Esse processo auxilia na tomada de decisões esclarecidas, visando um equilíbrio entre eficiência, custo e sustentabilidade ambiental ao escolher entre variadas opções de transporte público e privado.

Utilizando o consumo de combustível em litros (l), a Equação 1 estima o uso de energia em terajoules (TJ) através de fatores de conversão. Posteriormente, a Equação 2 determina a quantidade de carbono em gigagramas (GgC) a partir do consumo energético, convertendo para toneladas de carbono. A última etapa, realizada pela Equação 3, calcula as emissões de CO_2 com base no carbono estimado.

$$CC = CA \times F_{conv} \times 45,2 \times 10^{-3} \times F_{corr} \quad (1)$$

$$QC = CC \times F_{emiss} \times 10^{-3} \quad (2)$$

$$ECO_2 = QC \times 44/12 \quad (3)$$

3.3. Método de Seleção

O método selecionado para a escolha foi o AHP, o qual efetivamente integra uma vasta gama de critérios em um processo decisório simplificado por meio de cálculos precisos. Para aplicar os dados relativos às características dos modais na escolha de rotas, foi realizada a normalização dos valores de cada critério, ajustando-os a uma escala de zero a um. Este modelo hierárquico é dividido em três partes, sendo elas o objetivo, os critérios e as alternativas. O objetivo é a Seleção de Rota/Modal no qual será utilizado o método AHP para ajudar na tomada de decisão. A segunda etapa é a definição dos critérios para a tomada de decisão, sendo estes critérios a Duração, Distância, Emissão e o Preço das rotas. A última etapa é a definição das alternativas, sendo elas as N rotas disponíveis. Após a determinação das três etapas, é necessário estabelecer como os critérios e as alternativas irão relacionar entre si, ou seja, quais critérios apresentarão maior peso nas escolhas das alternativas para chegar ao objetivo principal. Nesta etapa foram utilizados os diferentes perfis gerados para a execução desta aplicação, apresentando diferentes pesos aos 4 critérios levados em conta no método AHP.

O AHP é destacado por sua robustez na seleção de rotas, adotando uma estrutura hierárquica que se divide em objetivos, critérios e alternativas, facilitando o processo de decisão. O foco desse método é a escolha eficaz de uma rota ou modal de transporte, levando em consideração diversos critérios como tempo de viagem, distância, emissões e custos, e avaliando as múltiplas rotas disponíveis como alternativas. Atribui-se pesos diferenciados a quatro perfis de usuários (trabalhador, ecológico, seguro e turista), permitindo uma análise minuciosa. Cada perfil prioriza diferentes critérios: tempo e segurança para o perfil trabalhador e seguro; impacto ambiental mínimo para o ecológico; e relação custo-benefício para o turista, refletindo assim as preferências individuais de cada usuário na seleção do meio de transporte.

O AHP emprega um método de comparação par a par, utilizando uma escala de avaliação que varia entre "igual importância" a "importância extrema" para estabelecer a relevância entre critérios e alternativas. Essa abordagem resulta na formação de uma matriz decisória que facilita a compreensão e a gestão da complexidade envolvida na seleção, considerando um leque extenso de critérios. Desta forma, foi criada uma matriz para cada perfil, e assim os distintos perfis de usuário geram ponderações variadas para os critérios em questão, assegurando uma escolha de rota personalizada que melhor satisfaz as necessidades específicas de cada um. A análise inclui uma tabela que espelha essas preferências, fundamentando a escolha de rotas com base no perfil de cada usuário.

Tabela 2. Índice de peso para cada característica atribuída aos 4 perfis de seleção

Perfil AHP	Duração	Distância	Emissão	Preço
Trabalhador	0.578	0.266	0.038	0.118
Verde	0.083	0.181	0.692	0.044
Seguro	0.509	0.342	0.060	0.088
Turista	0.093	0.319	0.121	0.466

O método AHP é capaz de assegurar uma tomada de decisão informada e objetiva pois sua eficácia não está limitada à seleção baseada em critérios múltiplos, incluindo também a métrica dos perfis e a geração de ranking para as alternativas. Dessa forma, este método destaca a importância dos critérios individuais na determinação do modal de transporte e fornece uma abordagem quantificável e sistemática, otimizando a experiência da viagem, considerando eficiência, custo e impacto ambiental.

4. Avaliação

Esta seção apresenta os resultados e conclusões obtidas pela execução da metodologia apresentada, com o cenário da cidade de Chicago, comparando diferentes trajetos gerados levando em conta as preferências dos diferentes perfis de usuários [Rodrigues et al. 2019, Brito et al. 2022, Brito et al. 2023].

Vale ressaltar que, para uma comparação mais clara e objetiva entre rotas geradas com valores de distância diversas, o dataset de rotas foi dividido em três grupos distintos, utilizando as distâncias máxima e mínima observadas para gerar intervalos de divisão espaçados de forma uniforme. Esta divisão torna-se necessária visto que maiores distâncias implicam em valores de duração, emissão e preço maiores. O grupo 1 apresenta rotas entre 5 a 23 km, o grupo 2 é caracterizado por rotas de 24 a 35 km, por fim o grupo 3 apresenta rotas de 36 km até o valor de distância máximo do dataset.

4.1. Resultados

A Figura 2 mostra a análise de rotas individuais para cada um dos três grupos de rotas gerados. A Figura 2a apresenta um exemplo de percurso mais curto, onde é possível observar o excelente desempenho da bicicleta quanto a emissão, ao contrário do transporte público. Já a Figura 2b demonstra como a duração torna-se um empecilho para a bicicleta em rotas mais longas, chegando ao máximo na combinação transporte público e bicicleta. Por fim, as rotas mais longas no grupo 3, ilustrado pela Figura 2c apresentam uma diferença positiva na duração entre o carro e os outros modais, ao custo de níveis elevados de emissão e preço.

A discussão apresentada na Figura 2 pode ser ilustrada através das médias observadas para diferentes fatores nos conjuntos de rotas estudados. Por exemplo, a Figura 3 ilustra uma taxa de emissão uniforme em rotas que utilizam bicicletas, conforme evidenciado também na Figura 3a. Contudo, observa-se uma média de tempo de percurso consideravelmente maior nas rotas extensas pertencentes ao grupo 3, conforme indicado na Figura 3b. Uma alternativa que proporciona um equilíbrio entre emissão de poluentes e tempo de viagem em trajetos mais longos consiste na alternância entre o uso de veículos particulares, como carros, e bicicletas.

É possível observar a diferença entre os diferentes modais e o carro no custo de locomoção em rotas longas na Figura 3c, mesmo que, para o carro, a duração seja mínima.

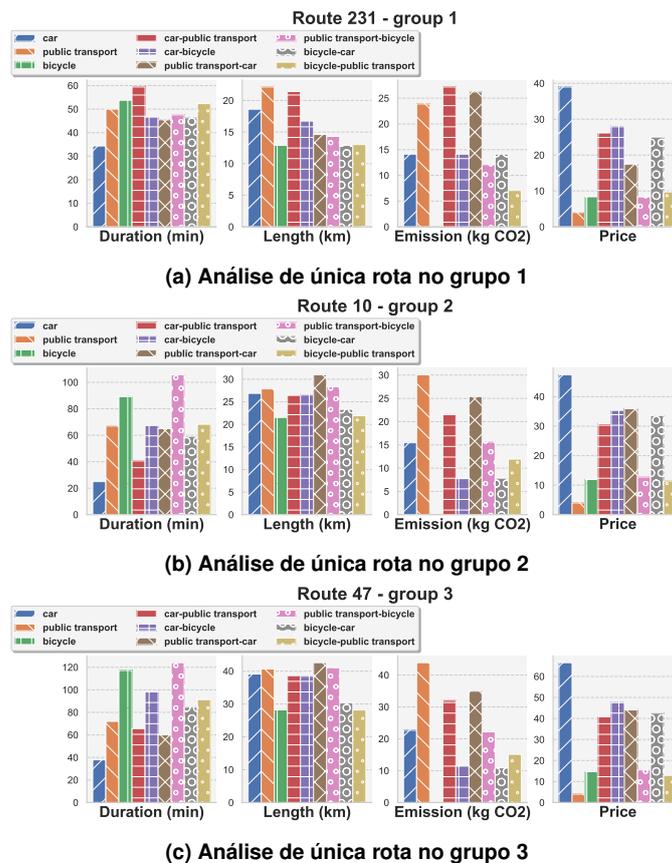


Figura 2. Análise dos modos de transporte em uma rota de cada grupo

Combinações como carro-transporte público e bicicleta-transporte público apresentam uma grande redução em seu custo.

A Figura 4 mostra a matriz PDFKS e a diferença entre os perfis balanceado e ganancioso. Podemos ver mudanças de preços devido a preços fixos para transporte público, bicicletas dinamicamente mais baratas e opções de carros mais caras. Além disso, todos os perfis balanceados cumprem todas as características objetivas de peso, têm melhor desempenho do perfis trabalhador e seguro em comparação com *onlyDuration* e *onlyLength*, e os perfil verde têm melhor desempenho do trabalhador e perfis de segurança em comparação com *onlyEmission*, o perfil turista tem melhor desempenho e perfil de seguro em comparação com valor de *onlyPrice*.

A Figura 5 ilustra a agregação dos valores do PDFKS para oito perfis distintos. A correlação entre os dados de empregados e seguros surgiu devido à ausência de elementos criminais para a análise. Portanto, a distância e a velocidade emergem como dois fatores que moderam as preferências dos "empregados", contudo, estas dimensões também afetam a incidência de crimes, já que trajetos mais extensos e lentos podem incrementar os riscos sob determinadas condições locais.

O perfil verde vai além das emissões individuais para fornecer uma combinação mais equilibrada de opções de transporte para evitar a poluição. Por último, os perfis dos turistas superaram apenas os perfis de preços, inferindo que os utilizadores de viagens pretendem rotas mais baratas para explorar mais cidades e evitar viagens dispendiosas.

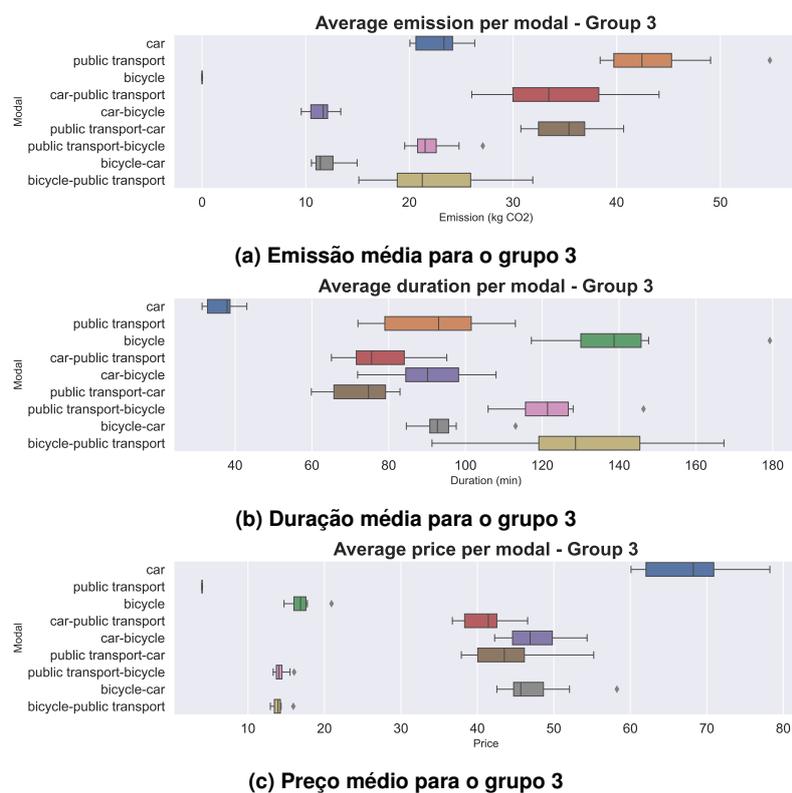


Figura 3. Emissão, duração e preço médio para o grupo 3

5. Conclusão

A pesquisa discutida enfatizou tanto a eficácia de preferências equilibradas na escolha do transporte quanto a relevância de métodos de escolha simples e eficazes, além da integração entre diferentes modos de transporte, com a utilização de informações oriundas de Redes Sociais Baseadas em Localização (LBSN). O estudo investigou diversas opções de transporte dentro de contextos urbanos intrincados, revelando que, embora os veículos privados possam ser eficientes, modalidades alternativas como ônibus, trens e bicicletas também se mostram viáveis e podem desempenhar um papel crucial na diminuição dos congestionamentos nas cidades, devido à sua capacidade superior de movimentação de usuários.

Para futuras investigações, simulações de mobilidade urbana poderão explorar ajustes nos parâmetros de seleção para adaptar-se a variados contextos urbanos e comportamentais. A integração de APIs para acessar dados contextuais em tempo real poderá aprimorar a precisão e complexidade dos dados, atendendo melhor às necessidades dos usuários e auxiliando planejadores urbanos na evolução do planejamento e gestão urbana.

6. Contexto do trabalho

As soluções apresentadas neste documento são fruto do trabalho de iniciação científica e trabalho de conclusão de curso desenvolvido no âmbito do projeto de pesquisa intitulado de "MobUrb-CIH: Arcabouço para Otimizar a Mobilidade Urbana em Cidades Inteligentes e Humanizadas" e financiado pela Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA). Este trabalho foi desenvolvido em colaboração com um aluno de mestrado e o trabalho foi publicado no Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos - SBRC (Qualis A4) juntamente com o VII Workshop de Trabalhos

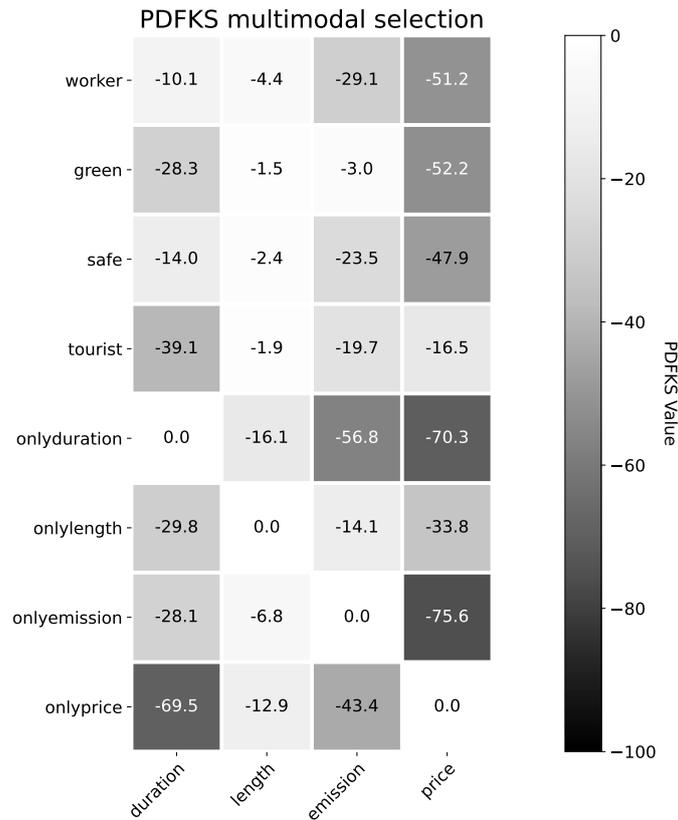


Figura 4. Índices PDFKS para cada perfil na seleção multimodal

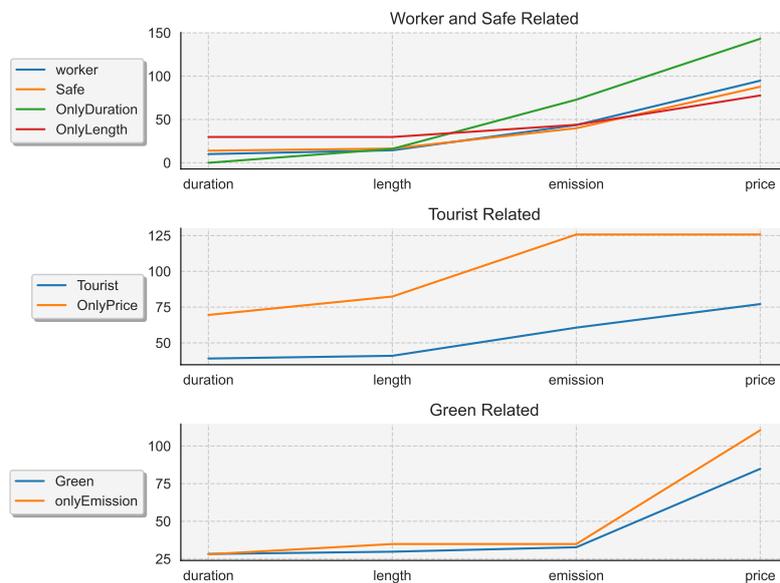


Figura 5. Soma cumulativa dos valores de PDFKS dos grupos de atributos.

de Iniciação Científica e de Graduação (WTG) [Santos et al. 2024], e submetido para a revista ad hoc network (qualis A1). O aluno colaborou na implementação da metodologia proposta, e para este trabalho foi avaliado a metodologia proposta no dataset de Chicago.

O trabalho apresentado foi desenvolvido por mim, aluno de graduação, no con-

texto da tese de mestrado de [Brito et al. 2023]. A modelagem da metodologia proposta foi desenvolvida em conjunto, porém a implementação, escrita e discussão dos resultados apresentados são de minha autoria.

Referências

- Afrin, T. and Yodo, N. (2020). A survey of road traffic congestion measures towards a sustainable and resilient transportation system. *Sustainability*, 12(11):4660.
- Brito, M., Martins, B., Santos, C., Medeiros, I., Araújo, F., Seruffo, M., Oliveira, H., Cerqueira, E., and Rosário, D. (2023). Personalized experience-aware multi-criteria route selection for smart mobility. In *Anais do XLI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, pages 504–517. SBC.
- Brito, M., Santos, C., Oliveira, H., Cerqueira, E., and Rosário, D. (2022). Air pollution calculation for location based social networks multimodal routing service. In *Proceedings of the 6th Urban Computing Workshop*, pages 280–293, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Ferreira, A. P., Silva, T. H., and Loureiro, A. A. (2020). Uncovering spatiotemporal and semantic aspects of tourists mobility using social sensing. *Computer Communications*, 160:240–252.
- HERE (2023). Build apps with here maps api and sdk platform access: Here developer.
- Hörcher, D. and Tirachini, A. (2021). A review of public transport economics. *Economics of transportation*, 25:100196.
- IPCC and Houghton, J. (1996). *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Greenhouse Gas Inventory Workbook*. OECD.
- Kalajdjieski, J., Zdravevski, E., Corizzo, R., Lameski, P., Kalajdziski, S., Pires, I. M., Garcia, N. M., and Trajkovik, V. (2020). Air pollution prediction with multi-modal data and deep neural networks. *Remote Sensing*, 12(24):4142.
- Rodrigues, D., Santos, F., Rocha Filho, G., Akabane, A., Cabral, R., Immich, R., L. Junior, W., Cunha, F., Guidoni, D., Silva, T., Rosário, D., Cerqueira, E., Loureiro, A., and Villas, L. (2019). Computação urbana da teoria à prática: Fundamentos, aplicações e desafios. In *Minicursos do XXXVII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, pages 51–91. SBC.
- Rodrigues, D. O., Boukerche, A., Silva, T. H., Loureiro, A. A., and Villas, L. A. (2018a). Combining taxi and social media data to explore urban mobility issues. *Computer Communications*, 132:111–125.
- Rodrigues, D. O., Fernandes, J. T., Curado, M., and Villas, L. A. (2018b). Hybrid context-aware multimodal routing. In *2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, pages 2250–2255. IEEE.
- Santos, C., Brito, M., Cerqueira, E., and Rosário, D. (2024). Análise de um sistema de roteamento personalizado multimodal e multicritério com Ênfase em plataformas de redes sociais baseadas em localização. *VII Workshop de Trabalhos de Iniciação Científica e de Graduação (WTG)*.
- Zou, B., Li, S., Zheng, Z., Zhan, B. F., Yang, Z., and Wan, N. (2020). Healthier routes planning: A new method and online implementation for minimizing air pollution exposure risk. *Computers, Environment and Urban Systems*, 80:101456.