

IDENTIFICAÇÃO DE LACUNAS DE ATENDIMENTO DA INTEGRAÇÃO TARIFÁRIA NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE

Juliano Castro de Andrade
Thalles Araújo Lopes Ferreira
Maria Leonor Alves Maia
Leonardo Herszon Meira
Universidade Federal de Pernambuco

Resumo: O espraiamento urbano dificulta o acesso das pessoas às oportunidades desejadas, sobretudo para as que moram em áreas mais afastadas dos centros urbanos. A integração do transporte é apontada como uma das diretrizes para reduzir desigualdades e promover a inclusão social. Assim, o objetivo deste trabalho é identificar lacunas da integração tarifária do sistema de transporte da Região Metropolitana do Recife (RMR), que ocorre majoritariamente em terminais fechados, identificar onde ocorrem as baldeações e estimar o custo necessário para a ampliação da integração do sistema. A base de dados utilizada é a Pesquisa OD de 2018 da RMR, em conjunto com uma simulação em linguagem Python usando a API directions do Google. Os resultados evidenciam em que linhas e em que locais mais ocorre a demanda por integração, facilitando o aprimoramento e planejamento do atual sistema de integração de transporte, ampliando assim o acesso da cidade por seus cidadãos.

Palavras-chave: Integração tarifária. Planejamento dos transportes. Google API Directions. Python em transportes.

Abstract: Urban sprawling makes it difficult for people to access their desired opportunities, especially for those who live in peripheral areas. Transport integration is pointed out as one of the guidelines to reduce inequalities and promote social inclusion. This paper aims to identify the gaps in fare integration of the transport system of the Metropolitan Region of Recife (MRR), mostly taking place at physically restricted terminals, to verify where the transfers occur and to estimate the necessary budget to improve the local integration. The database used is the OD Survey of 2018 of the MRR, and a simulation in Python language using Google's directions API. The results show on which lines and in which locations the demand for integration occurs the most, facilitating the improvement and planning of the current transportation integration system, thus expanding the city's access by its citizens.

Keywords: Fare integration. Transport planning. Google API Directions. Python in transports.

1. INTRODUÇÃO

O aumento da urbanização das cidades atrelado ao crescimento da frota de automóveis traz inúmeras consequências à mobilidade urbana, dentre elas o aumento das distâncias percorridas pelos cidadãos para terem acesso aos seus principais motivos de viagem, como trabalho e educação. O espraiamento, por um lado, somado à concentração de serviços e espaços simbólicos em alguns territórios, por outro, podem contribuir para essa ocorrência, que se agrava, particularmente para as populações que vivem nas periferias das cidades.

O espaço urbano é modificado por diferentes atores, como os proprietários dos meios de produção, os donos das terras, os promotores imobiliários, o Estado e ainda os grupos sociais excluídos que desempenham papéis próprios, e variam a forma como atuam ao longo do tempo (Corrêa, 2002). Apesar de serem agentes do espaço, os grupos mais vulneráveis acabam por serem submissos às decisões dos outros agentes, tendo seu acesso às oportunidades limitado em função também de sua localização na cidade. A integração dos meios de transporte público pode tornar os deslocamentos dessa população mais módicos e garantir o pleno uso dos recursos

urbanos pelos cidadãos. A Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU) trata dessa questão ao apontar a integração entre os modos e serviços de transporte urbano como uma de suas diretrizes para, dentre outras coisas, reduzir as desigualdades e promover a inclusão social (Brasil, 2012).

Considerando a multiplicidade de combinações de viagens, com diferentes motivos e destinos ao longo da malha urbana, e a lógica de integração do serviço de transporte, há inúmeros desses translaços que podem acabar não inclusos na integração. Isso implica no pagamento de mais de uma tarifa ao longo da viagem, tornando-se mais um obstáculo no enfrentamento às desigualdades de acesso. A motivação desse trabalho veio ao verificar-se que havia respondentes da pesquisa O/D de 2018 da Região Metropolitana do Recife (RMR) que declaravam fazer uso de 2 ou mais ônibus em seus deslocamentos e não passavam por nenhum terminal de integração, o local típico de integração no sistema de transportes local. Com isso, esse trabalho tem por objetivo identificar lacunas da integração tarifária da RMR. O estudo empírico, portanto, foi realizado a partir dos dados da pesquisa O/D de 2018 da Região Metropolitana do Recife.

Para atingir o objetivo proposto será feita a identificação dos usuários de transporte público que hoje estão alheios à integração, bem como a identificação dos locais onde essa troca de linhas não integrada ocorre com mais frequência, e será realizada uma estimativa da ordem de grandeza dos custos que seriam necessários para incluir essa parcela da população em uma integração. Para isso, será desenvolvido um algoritmo de programação usando a API directions do Google. Espera-se, com isso, colaborar com subsídios para elaboração de políticas públicas de transporte quanto à melhoria e ampliação da integração do sistema de transporte que efetivamente levem o passageiro a seu destino.

A utilização de APIs do Google para estudos na área de transportes já vem sendo abordada, como pode-se observar nos trabalhos de García-Albertos et al.(2019); Costa, Ha e Lee(2021); Acheampong e Asabere(2022); Hu et al. (2020); Boisjoly et al.(2020); Fielbaum e Jara-Diaz(2021); Rahmani,Koutsopoulos e Jenelius (2017); Wagner et al.(2020); Chang et al.(2019) que adotam uma API do Google para obter tempo de viagem. Muñoz-Villamizar et al.(2021) e Dong e Cirillo(2020) adotam a ferramenta para obter tanto tempo de viagem quanto distâncias. Amini-Behbahani, Meng e Gu 2020) utilizam para obter a localização de serviços, localização das paradas de ônibus e distâncias de caminhada. Xia et al.(2018) fazem uso da ferramenta para obter custos de viagem e Frei, Hyland e Mahmassani(2017) a utilizam para obter origem e destino precisos para simulação de cenários. Muitos dos estudos utilizaram a ferramenta para obter tempo de viagem, enquanto que um grupo menor utilizou para obter distâncias e outros dados, porém não foram encontrados estudos que focassem na identificação da troca de linhas dos passageiros e sua necessária integração, essência deste artigo, ou até na localização em que estas ocorrem.

Deve-se ressaltar, por fim, que apesar de realizado em uma localidade específica, a metodologia proposta pode ser realizada em qualquer lugar, não se atendo à cidade do Recife, mas ao transporte público em geral. Para isso, basta que os dados da oferta do serviço transporte coletivo estejam disponíveis em alguma API capaz de simular trajetos desse serviço e que disponha de uma pesquisa O/D ou qualquer outro estudo que identifique quais os usuários que fazem uso de mais de um ônibus e não contam com integração no seu deslocamento.

Este trabalho está estruturado em seis seções. Após esta seção introdutória, a seção 2 conceitua e aborda diferentes formas de integração. A terceira seção apresenta como é estruturada a lógica de integração da RMR. A quarta seção apresenta a metodologia utilizada na construção desta pesquisa, mostrando como será considerada e analisada a população alheia à integração vigente na RMR. A quinta seção apresenta os resultados obtidos e, por fim, a última seção trata das considerações finais e aponta sugestões para estudos futuros.

2. SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO DE TRANSPORTES

A integração entre os meios de transportes é definida como uma forma de cooperação operacional que tem como objetivos aumentar a acessibilidade dos usuários ao sistema de transportes e aos destinos desejados (ANTP, 1997). Essa cooperação pode ocorrer de forma física, tarifária, institucional, operacional e temporal (ANTP, 1997; Ferraz e Torres, 2004).

A integração física consiste na transferência dos passageiros em algum ponto específico, evitando o deslocamento excessivo nessa operação. Essa integração pode ocorrer tanto entre o mesmo modo de transporte, como entre ônibus, sendo, portanto, intramodal, quanto entre diversos modos, ou seja, intermodal, como por exemplo entre trem/metrô ou modos aquaviários. A integração institucional se dá por meio de instrumentos legais que dão respaldo às ações operacionais (ANTP, 1997); a operacional ocorre quando as transferências são feitas com um planejamento integrado (ibid); a tarifária quando o passageiro faz uso de duas ou mais linhas, porém paga um montante inferior ao somatório das tarifas individuais (Cadaval, 2006); e a temporal é aquela em que o deslocamento do usuário entre dois ou mais pontos de uma rede de transportes, ocorre em determinado período de tempo, com pagamento de tarifa inferior à soma das tarifas de cada rota separada (Oliveira, 2013).

Sobre a integração tarifária, Cadaval (2006) afirma que sua justificativa advém de uma certa compensação por não existir o serviço de transporte direto, buscando não penalizar os passageiros que necessitam da transferência entre linhas. Assim, assegura-se um regime de equidade no acesso às diferentes áreas da cidade. Enfatiza-se aqui o papel do Sistema de Bilhetagem Eletrônica (SBE), que permite sistemas abertos de integração, dispensando o uso dos terminais de integração (ibid). Além dessa possibilidade, tais sistemas também permitem a obtenção de inúmeras informações sobre as viagens realizadas, tais como dados de frota em serviço, indicadores de ociosidade, entre outros (Ferreira e Barbosa, 2014).

Apesar dos esforços, muitos sistemas de integração não conseguem atender as necessidades de todos os seus usuários pela multiplicidade de O/D. Nessas situações, ocorre que o usuário faz a transferência entre modos (intra ou intermodal) sem os benefícios da integração. Verificar a frequência de onde isso ocorre e verificar o custo para operacionalizar essas transferências a uma menor tarifa para o usuário é o que analisa esse trabalho, tendo como objeto empírico o sistema de transporte público de passageiros da Região Metropolitana do Recife.

3. A INTEGRAÇÃO DO TRANSPORTE PÚBLICO NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE (RMR)

O Sistema de Transporte Público de Passageiros da Região Metropolitana de Recife (STTP/RMR) é formado por dois sistemas complementares: o Sistema Estrutural Integrado (SEI) e o Sistema de Transporte Complementar de Passageiros do Recife (STCP). Ambos de caráter complementar ao Sistema de Transporte Municipal (STM/Recife) (CTTU, 2021). O SEI é o sistema no qual ocorrem as integrações da RMR, composta por 14 municípios e, portanto, foco deste estudo.

O SEI consiste em uma rede de transporte público composta por linhas de ônibus e metrô e a integração entre as linhas é realizada através de terminais físicos (Grande Recife, 2021a). O sistema é composto por eixos radiais e perimetrais e é no cruzamento dos eixos que se encontram os Terminais de Integração (TIs). Assim, vemos que a inserção do passageiro à integração local fica condicionada ao seu traslado pelas linhas racionalizadas do SEI, sem muita flexibilidade para o usuário realizar a integração fora desses terminais.

A integração temporal, que ainda em 2016 era bastante desconhecida entre a população (Soriano et al., 2016) vem ganhando cada vez mais destaque e sendo implementada cada vez mais na cidade, se mostrando presente em 20 dos 26 terminais do SEI (Grande Recife,

2022). A questão é que, apesar do avanço da difusão da tecnologia, a integração temporal ainda se mostra um tanto quanto restrita aos terminais de integração ou às linhas que dão acesso a esses terminais, sendo ainda pouquíssimo difundida entre linhas que não operam nos terminais, com poucas possibilidades de integração entre linhas ao longo do trajeto do usuário (Grande Recife, 2015; 2019; 2020a; 2020b, 2021c). As integrações tarifárias fora dos terminais são escassas e, de modo geral, o usuário fica vinculado àquela forma de deslocamento racionalizada pelos eixos de transporte que interligam os terminais. Considera-se, portanto, como passageiros alheios da integração, os usuários que fazem uso de mais de uma linha de ônibus para atingir seus destinos, mas que não fazem transferência em terminais, sendo assim pagantes de tarifas duplicadas para ter acesso aos seus destinos.

Quanto aos terminais de integração da cidade, Seabra e Martins(2015) concluem que são inadequados aos usuários do ponto de vista ergonômico, estimulando que a população busque outros meios de locomoção. Conforme Da Silva (2021), os terminais de integração do transporte público da RMR são os locais que apresentaram maior positividade para SARS-CoV-2, mais do que em unidades de saúde, inclusive, alertando para o risco imposto à população durante a pandemia ao fazer uso dos terminais.

Este estudo aproveita um momento em que a cidade do Recife apresenta constantes ampliações de integrações temporais entre suas linhas, mostrando capacidade na implantação do sistema, bem como considera a integração tarifária fora de terminais como a complementaridade ideal ao sistema SEI, evitando a superlotação em terminais, principalmente em cenários pandêmicos. É nesse contexto que esse estudo se mostra relevante, na medida em que apresenta subsídios que possam ajudar no processo decisório relativo à ampliação da integração temporal por transporte na RMR.

4. METODOLOGIA

4.1 Base de dados inicial e filtragem da amostra

O estudo utilizou os dados mais recentes da pesquisa OD da RMR (ICPS, 2020), realizada pelo Instituto da Cidade Pelópidas Silveira (ICPS) em 2018, órgão vinculado à Secretaria de Política Urbana e Licenciamento de Recife.

A partir dessa base de dados foram realizados os seguintes procedimentos:

a) Filtragem dos dados de viagem com origem e destino dentro das 253 zonas OD que compõem a RMR, objeto de análise deste estudo. Assim, qualquer viagem com origem ou destino fora dessas zonas foi excluída;

b) Na sequência, foram filtradas as viagens em que os respondentes afirmam ter utilizado mais de uma linha de ônibus;

c) Identificou-se as viagens realizadas pelo motivo trabalho, visto serem as mais numerosas dentre as opções (64,5%). Os endereços completos do destino só são identificados para este motivo, o que inviabiliza simulações de trajeto para os motivos complementares;

d) A partir desses dados, foram removidas as viagens em que os usuários afirmam ter utilizado algum Terminal de Integração (TI) como ponto de transferência entre linhas, já que assim considera-se que pegam mais de uma linha de transporte, mas com pagamento de apenas 1 tarifa ao se deslocar nas rotas do SEI, dada a integração proporcionada às baldeações ocorridas nos terminais e explicada na seção 3;

e) Os dados de viagens restantes foram considerados como os dados da população cujo par OD possivelmente implica no pagamento de mais de uma tarifa, portanto, considerados como alheios à integração do sistema.

f) Quanto à origem das viagens, verifica-se que a OD apenas dispõe do endereço completo de quando a viagem tem como saída a residência do respondente, o que ocorre em cerca de 90% dos dados obtidos até a etapa e.

Com as etapas descritas, foram obtidas 4.396 pares OD passíveis de simulação de trajeto e com baldeações fora dos terminais, sendo essa base de dados inicial para a simulação, uma quantidade de dados suficiente para gerar uma amostra estatística confiável. Como a OD dispõe dos fatores de expansão para a amostra, podemos estimar o número real de transferências realizadas por essa população-chave.

4.2 Simulação dos trajetos com uso da API

Como um dos objetivos deste trabalho é o desenvolvimento de um algoritmo de programação para obtenção dos dados necessários, será implementado um código em linguagem Python utilizando os serviços da API directions do Google. A adoção de um código em Python se dá devido a necessidade de se obter milhares de simulações para os pares de O/D desejados, além de ser uma linguagem muito utilizada para análise de dados e que conta com diversos pacotes e serviços já implementados, como é o caso da Google Directions API. A ferramenta permite a obtenção de inúmeras informações produzidas pela simulação de cada viagem, de forma semelhante à simulação entre 2 locais pela ferramenta Google Maps. Com auxílio do Python, podemos obter as informações de forma automatizada, evitando a simulação manual de milhares de consultas pela API do Google.

Após a filtragem dos dados de interesse a partir da Pesquisa OD, os trajetos das viagens para motivo trabalho são simulados com o código de programação desenvolvido.

Primeiramente, os endereços completos de residência e trabalho foram geocodificados de forma que possam ser inseridos os pares de coordenadas como origem e destino na simulação. O código elaborado para este trabalho, assim como os dados utilizados, está disponível em <https://github.com/thallesalopes/-LACUNAS-DE-ATENDIMENTO-DA-INTEGRA-O-POR-TRANSPORTE-NA-REGI-O-METROPOLITANA-DO-RECIFE>.

Como parâmetros de entrada para o Google Directions API, temos: origem e destino como os pares de coordenadas obtidos pela geocodificação dos endereços; arrival_time = horaChegada, que corresponde à coluna com os horários de início do trabalho dos respondentes; mode = transit, para definir que o trajeto será realizado por transporte público.

Foi possível então, a partir da simulação, verificar quais dessas viagens precisavam de fato ser realizadas com mais de uma linha. Desses dados, a partir dos dados de coordenadas geográficas dos locais onde ocorrem as baldeações, foi possível verificar quais delas ocorrem dentro dos terminais de integração, utilizando o software QGIS. Além disso, foram identificadas as linhas que já fazem integração temporal. Ao final desse procedimento, pudemos identificar quais as viagens que de fato precisam realizar baldeação de linhas sem a possibilidade de integração física ou temporal, definido como público-alvo deste estudo.

Assim, expomos uma lista das mais frequentes duplas de linhas responsáveis pelas trocas de ônibus dos usuários. Esse resultado-chave de nosso estudo permitirá a identificação precisa das integrações temporais-tarifárias a serem implementadas pela autoridade local. Também, a partir dos dados obtidos pela simulação, utilizando o software QGIS, será apresentado um mapa indicando os locais em que as baldeações não integradas ocorrem em maior quantidade.

4.3 Estimativa de custos da ampliação da integração do sistema

Nessa etapa, foi feita uma estimativa de custos advindos da complementação do sistema de integração de Recife através do acréscimo das integrações tarifárias tidas como ausentes. Essa estimativa é obtida através da soma das tarifas de ônibus não integradas a serem pagas pelos usuários pagantes de mais de uma passagem.

A OD não informa se o usuário é pagante de tarifa inteira, meia ou se tem isenção, contudo informa a idade dos respondentes e a categoria de trabalho em que se enquadraram, se CLT ou alguma outra. Assim, foram considerados os trabalhadores em regime CLT como

pagantes de tarifa inteira, vide o repasse de custeio para transporte a ser pago pelo empregador imposto pelo regime; e para o resto da amostra, se a viagem for realizada por um trabalhador que também é estudante, este será pagante de meia tarifa, caso contrário, tarifa inteira. Deve-se enfatizar que em Recife há tarifas com valores mais baixos em horários fora de pico (Grande Recife, 2021c), e o valor da tarifa para cada respondente será considerado a partir do horário em que este utiliza o transporte público. Ressalta-se que os trabalhadores acima de 60 anos não entram na fórmula de cálculo por serem isentos da tarifa.

Como limitação dessa estimativa temos a própria limitação da amostra filtrada, ao realizarmos a simulação pelo código para os dados que possuem endereços completos de origem e destino de suas viagens. Assim, o valor obtido corresponderá aos 90% dos dados de pessoas que utilizam mais de uma linha e realizam transbordo fora de terminais, referente aos 4.396 dados obtidos pelo processo descrito no item 4.1. Assim, o valor encontrado foi expandido para a população de 100% a partir do fator FC na equação 1 a seguir.

A equação de cálculo pode ser representada por:

$$CE_{trabalho} = \Sigma (T_{linha} \times \%pag) / FC \quad (1)$$

Em que:

CE trabalho: Custo estimado para complementação às integrações pelo motivo trabalho, em reais;

$\%pag$: porcentagem do pagamento da tarifa. Assume os valores 0,5 caso o passageiro seja estudante ou 1 caso o passageiro não seja estudante;

T_{linha} : Tarifa do embarque na linha, em função da linha e do horário de embarque. Caso o valor da porcentagem do pagamento seja 0,5, o preço da tarifa é considerado cheio, o preço de pico, pois o desconto para estudantes é contabilizado como metade do valor cheio, dentro ou fora de pico;

FC: fator de correção de expansão da amostra. Assume o valor de 0,9 dado termos uma amostra de 90% da população que usa mais de uma linha para ir ao trabalho.

4.4 Análise exploratória

A simulação realizada permite, também, filtrar da amostra os dados de pessoas que realmente pagam mais de uma tarifa para atingir seu destino. Dessa forma, como última etapa, foi feita uma análise exploratória comparando-se os dados de idade, sexo, tipo de ocupação e renda apresentados: (1) pela população geral que utiliza transporte público; e (2) pelos usuários que pagam mais de uma tarifa para se deslocar. Esses estratos de população são considerados pertinentes ao permitir a discussão e elaborar hipóteses sobre as diferenças socioeconômicas percebidas. Para o tratamento e análise dos dados foi utilizado o software Excel.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Integrações temporais/tarifárias obtidas pela simulação

As 4.396 respostas obtidas a partir da Pesquisa OD equivalem a uma população de 96.529 pessoas, após a aplicação dos respectivos fatores de expansão populacional de cada resposta.

A partir dessa base de dados de 4.396 respostas, foi realizada a simulação utilizando a geocodificação e a ferramenta Google Directions API, conforme procedimento descrito na metodologia. Verificou-se que 249 dados de resposta (5,67% dos dados), o que equivale a 4.782 pessoas, não retornaram resultados de buscas, significando que a ferramenta não encontrou rotas possíveis para simular a viagem. Isso pode ocorrer pelo fato de que esses respondentes

residam ou trabalhem em áreas de difícil acesso ou distantes do sistema de transportes, tendo que realizar viagens adicionais por outros modos para adentrar o sistema.

Ainda na simulação, foi verificado que em 1.714 casos (38,99% dos dados), o que equivale a 35.533 pessoas, havia uma linha direta que ligaria o respondente ao seu ambiente de trabalho, apesar deste ter respondido na pesquisa OD que realiza a viagem através da utilização de duas linhas ou mais. Uma explicação possível é que isso se deu pelo rearranjo de linhas ocorrido no sistema após a realização da pesquisa OD, ou ainda pela falta de conhecimento dos passageiros sobre o próprio sistema, ou até mesmo por questões de comodidade de não buscar alternativas às rotas que já utiliza. Nessa etapa, restaram 2.433 respondentes em que, na simulação, foi possível verificar que a melhor rota seria feita utilizando 2 ou mais linhas.

Apesar destes respondentes terem assinalado que não realizavam integração nos Terminais, foi verificado que, pela simulação, em 413 casos (9,39% dos dados), o que equivale a 7.063 usuários, essas trocas de linhas seriam realizadas dentro dos terminais e, portanto, já contempladas pela integração. Para essa verificação foi utilizado o software QGIS.

Ao final de todas as validações realizadas nos dados, 2.020 respondentes (45,95% dos dados) se enquadraram nos requisitos desses estudos, o que equivale a 49.150 pessoas que utilizam o transporte público para trabalhar, fazendo uso de 2 ou mais linhas e realizando ao menos uma dessas trocas fora dos terminais de integração do SEI, sendo este o público-alvo deste estudo.

Na Tabela 1 estão exemplificados um dos resultados da simulação, com as baldeações mais frequentes do total de 1.163 encontradas. Observa-se que as baldeações ocorrem de forma bastante distribuída entre os pares de linhas identificados, com os primeiros 45 resultados sendo responsáveis por 33,8% da população considerada como fora do atual sistema de integração. Isso pode ocorrer pela forma como são distribuídos os corredores de transporte na cidade, que já concentram demanda nas linhas troncais, e, portanto, as integrações ocorridas fora dos terminais representam trajetos pouco realizados na cidade, sendo cada um desses pares pouco representativo do total.

Tabela 1: Pares de linhas não integradas com maior quantidade de baldeações (troca de linhas)

Índice	Baldeação (Entre Linhas)	População equivalente	Porcentagem do total da população	Porcentagem acumulada	Índice	Baldeação (Entre Linhas)	População equivalente	Porcentagem do total da população	Porcentagem acumulada	Índice	Baldeação (Entre Linhas)	População equivalente	Porcentagem do total da população	Porcentagem acumulada
1	870-185	2873	5,1%	5,1%	16	207-2040	398	0,7%	19,0%	31	2446-522	290	0,5%	27,9%
2	1912-1967	705	1,3%	6,4%	17	510-870	392	0,7%	19,7%	32	312-2450	282	0,5%	28,4%
3	321-820	616	1,1%	7,4%	18	760-870	376	0,7%	20,3%	33	061-2040	279	0,5%	28,9%
4	185-1911	613	1,1%	8,5%	19	2480-014	368	0,7%	21,0%	34	312-2040	275	0,5%	29,4%
5	680-185	590	1,0%	9,6%	20	2040-185	362	0,6%	21,6%	35	2920-2040	266	0,5%	29,9%
6	1964-601	568	1,0%	10,6%	21	711-824	356	0,6%	22,3%	36	718-2441	247	0,4%	30,3%
7	203-243	555	1,0%	11,6%	22	205-138	350	0,6%	22,9%	37	522-914	223	0,4%	30,7%
8	742-185	546	1,0%	12,6%	23	800-185	349	0,6%	23,5%	38	624-050	223	0,4%	31,1%
9	743-870	532	0,9%	13,5%	24	243-861	345	0,6%	24,1%	39	211-680	223	0,4%	31,5%
10	324-2040	521	0,9%	14,4%	25	321-212	320	0,6%	24,7%	40	1989-1967	222	0,4%	31,9%
11	185-243	449	0,8%	15,2%	26	1967-050	320	0,6%	25,2%	41	2450-330	221	0,4%	32,3%
12	243-185	449	0,8%	16,0%	27	624-631	315	0,6%	25,8%	42	741-870	220	0,4%	32,7%
13	212-2040	435	0,8%	16,8%	28	219-243	312	0,6%	26,4%	43	1967-2920	215	0,4%	33,1%
14	232-360	422	0,7%	17,5%	29	914-631	300	0,5%	26,9%	44	723-050	214	0,4%	33,5%
15	184-157	400	0,7%	18,2%	30	043-140	300	0,5%	27,4%	45	760-041	210	0,4%	33,8%

Fonte: Os autores(2022)

5.2 Análise da distribuição espacial das baldeações não integradas

A Figura 1 apresenta o mapa de densidade de Kernel para a distribuição das baldeações pelo território dos bairros do Recife, segundo a simulação realizada. É possível observar que nos bairros do Derby e Santo Antônio ocorre uma concentração de trocas de linhas, conforme já esperado, uma vez que esses bairros se localizam no entorno da área central da cidade, para onde a maior parte das linhas do sistema de transporte converge, e onde não há nenhum

terminal de integração. O bairro do Derby, em especial, é onde ocorre o cruzamento entre o corredor Leste-Oeste, importante via radial da cidade e que conta com o sistema BRT, com a Avenida Agamenon Magalhães, a I perimetral da cidade.

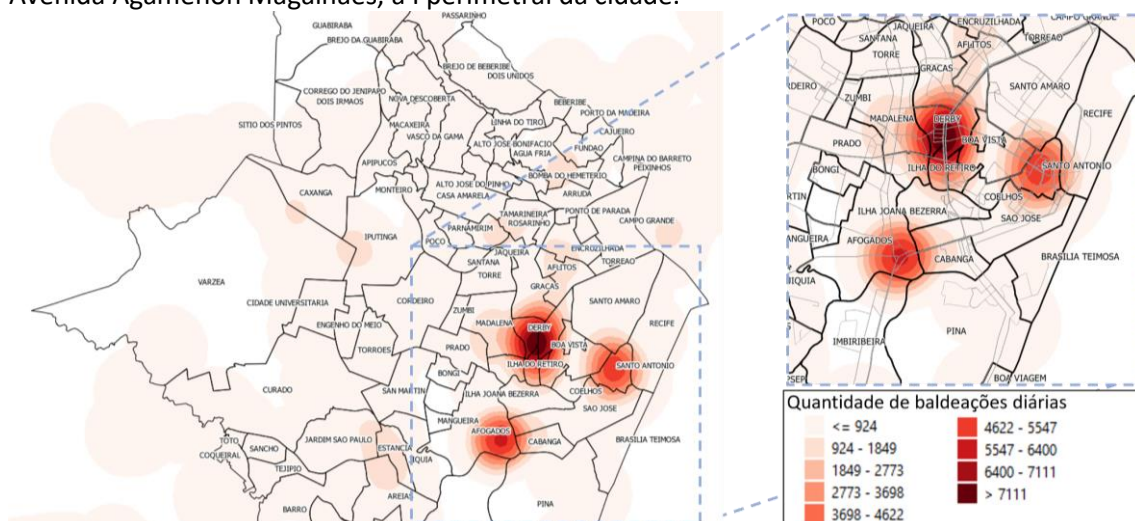


Figura 1: Mapa de Densidade de Kernel para as quantidades de baldeações diárias
Fonte: Os autores(2022)

Já o bairro de Afogados, que aparece também em destaque, carece de uma pesquisa mais aprofundada, uma vez que é servido por dois terminais de integração, além de ficar próximo a outros dois, sendo um deles o Terminal Integrado da Joana Bezerra, um dos mais importantes da cidade. Uma explicação possível é que as linhas que atendem esses terminais precisam de um melhor planejamento para atender melhor essas demandas verificadas nesse bairro.

A Figura 2 apresenta o mapa de densidade de Kernel para a distribuição das baldeações pelo território dos bairros destacando apenas os locais secundários de concentração, ocultando os 3 locais primários de baldeações não integradas, destacados na Figura 1. Para evidenciar os locais secundários, apenas as regiões com intervalo de 924 a 1849 baldeações foram mantidas, uma vez que foi verificada uma presença desse tipo de região ao longo do território.

Para estes locais é interessante notar que a quantidade de baldeações diárias fica em torno de 1.000 a 2.000. Uma primeira região a ser destacada se situa no entorno do bairro do Derby, uma região primária, se expandido para os bairros da Madalena e dos Afritos. Outros locais que concentram essas baldeações são: (1) o bairro da Estância, nas proximidades da Av. Recife; (2) Iputinga, no cruzamento da BR-101 com a Av. Caxangá; (3) no bairro da Caxangá, no entorno do T.I. Caxangá; (4) nos bairros do Parnamirim e Tamarineira, nas imediações da II Perimetral; (5) no bairro de Água Fria, também nas imediações da II Perimetral; (6) nas imediações do Complexo de Salgadinho, já no município de Olinda.

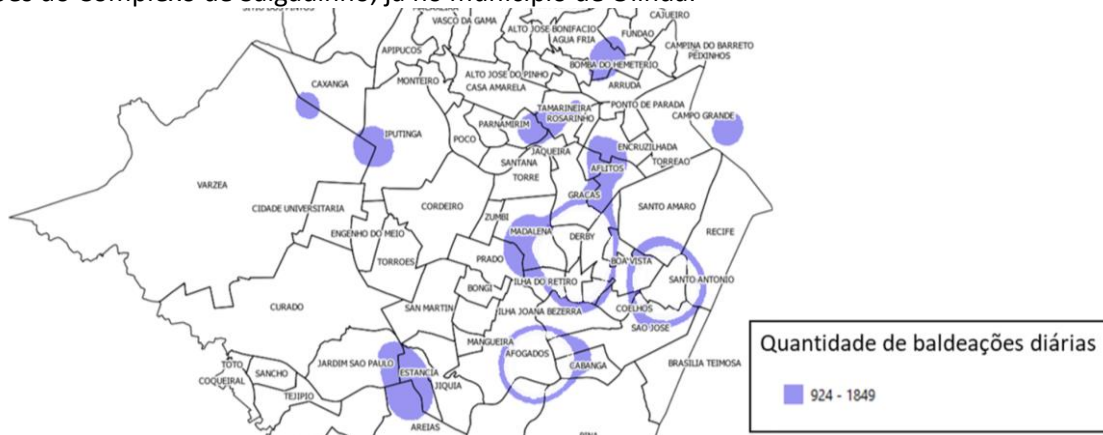


Figura 2: Mapa de Densidade de Kernel para as quantidades de baldeações utilizando o fator de expansão para regiões secundárias (excluindo Derby, Afogados e Santo Antônio)

Fonte: Os autores(2022)

É importante notar que para os locais 1, 2 e 3, essa concentração de baldeações não integradas ocorrem nas imediações de Terminais de Integração existentes, e vale ressaltar que essas baldeações foram informadas como não integradas tanto pelos respondentes da pesquisa OD como também foram identificadas como não integradas pela simulação. Para o local 1, no bairro da Estância, foi verificada a existência do T.I. Santa Luzia, para o local 2, no bairro da Iputinga, foi verificada a existência do T.I. CDU e para o local 3, na Caxangá, foi verificada a existência do T.I. Caxangá. Uma das possíveis explicações para isto, seria uma deficiência no planejamento das linhas que atendem esses terminais. Uma outra possibilidade de explicação para a ocorrência no local 2, tem a ver com o tempo de entrada em funcionamento do T.I. CDU, que entrou em operação após a realização da OD utilizada, o que pode ter impactado nas respostas da pesquisa OD.

Já para os locais 4, 5 e 6, já se sabia que era uma área carente de integrações físicas, o que pode sugerir um estudo para implantação de uma integração temporal direcionada.

5.3 Estimativa de custo da ampliação da integração do sistema

A partir da fórmula descrita no item 4.4, temos como resultado monetário a quantia de R\$ 268.548,66 diariamente, o que resulta em R\$ 70.896.845,50 anuais.

A quantia representa uma cifra de 24% do orçamento repassado ao Consórcio Grande Recife pelo estado de Pernambuco (PERNAMBUCO, 2021). Isso mostra que apesar de responder a uma parcela pequena da população, tal repasse é relativamente grande dentro do orçamento do consórcio, apontando para a necessidade de subsídio ao sistema, na intenção de distinguir a tarifa de remuneração da prestação do serviço e o preço público cobrado do usuário pelos serviços, como institui a PNMU (Brasil, 2012). Esse montante anual, caso não fosse subsidiado e fosse redistribuído na tarifa do sistema, representaria um aumento médio de R\$0,24, considerando os 294.965.482 passageiros equivalentes de 2019, ano mais atual com dados divulgados no anuário do Consórcio Grande Recife (Grande Recife, 2020c). Esses R\$0,24 representam um aumento de 5,86% para a tarifa do anel A (R\$4,10) e de 4,29% para o anel B (R\$5,60). Caso o custo tenha de ser repassado à população, o aumento acarretado na tarifa tornaria o transporte público mais desinteressante aos demais passageiros, impulsionando a evasão dos usuários do transporte público coletivo.

Mesmo constando de limitações, o cálculo apresentado permite obtermos uma noção da ordem de grandeza do montante necessário para a complementação do sistema, visando englobar os cidadãos usuários do sistema de transporte da RMR em sua integração. Para uma tarifa sem subsídio, o montante a ser adicionado implica na distribuição do custeio para toda a população usuária dos ônibus da região.

5.4 Análise do perfil dos usuários alheios à integração do sistema

A partir dos dados socioeconômicos da pesquisa OD, foi possível realizar um comparativo entre o público-alvo deste estudo e o público que utiliza o transporte público, definido aqui, para fins comparativos, como público geral.

Como pode ser observado na análise apresentada a figura 3, as condições socioeconômicas do público-alvo deste estudo não diferem significativamente das condições do público geral que utiliza o transporte público diariamente da RMR. Apesar disso, é possível notar que as pessoas do sexo feminino, de idades entre 25 e 59 anos e os assalariados com carteira são levemente mais frequentes na situação de falta de integração temporal. Já considerando a renda, a parcela da população que recebe até 1 salário mínimo é menos frequente do que a população geral. Isso pode se dar pelo peso que o pagamento de 2 passagens para o

deslocamento ao trabalho teria no orçamento familiar do usuário. Para um usuário com renda familiar de 1 salário mínimo (R\$ 1.212,00 em 2022), o pagamento de 2 tarifas de ônibus na cidade de Recife 5 vezes na semana para ir e voltar do trabalho, corresponde a cerca de 30% da renda no caso do Anel A (tarifa de R\$ 4,10), a mais barata, e cerca de 40% da renda para o Anel B (tarifa de R\$ 5,60). Este fato evidencia a urgência da atualização do sistema de integração, contribuindo para reduzir desigualdades socioeconômicas.

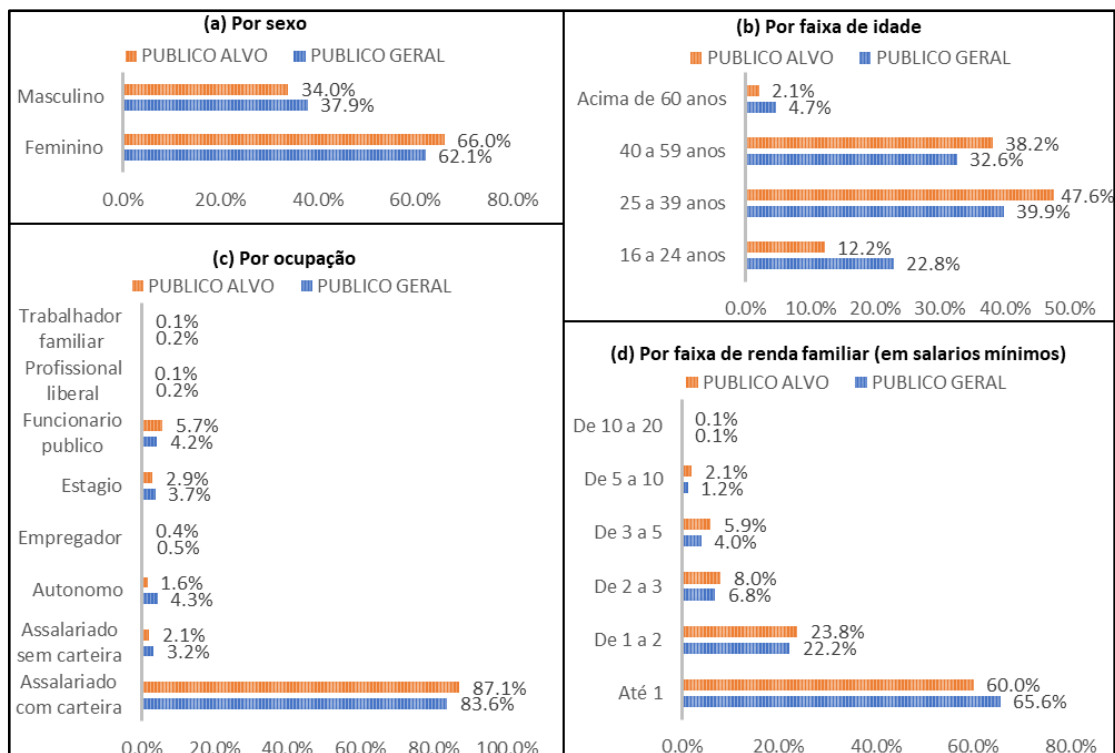


Figura 3: Comparativo socioeconômico entre o público geral e o público-alvo do estudo por sexo, faixa de idade, ocupação e faixa de renda familiar

Fonte: Os autores(2022)

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo explicitou quais os pares de linhas de ônibus não integradas entre si são utilizados nos deslocamentos ao trabalho pela população da Região Metropolitana de Recife. O método desenvolvido para abordar essa problemática se mostrou apropriado com uso de linguagem Python para obtenção automática de dados a partir dos dados da pesquisa OD. O estudo identificou que há um número expressivo de usuários fazendo integração entre ônibus fora do sistema integrado, acarretando em custos adicionais aos deslocamentos casa-trabalho. Em geral são mulheres, na faixa de renda familiar de até 1 salário mínimo, evidenciando a necessidade de uma atualização da integração do SEI, de forma que atenda essa demanda de passageiros alheios ao atual sistema. Os objetivos do trabalho foram atingidos na medida em que, além dos resultados obtidos diretamente pelo código como o mapeamento dos locais com mais baldeações não integradas e identificação das linhas, dispomos da estimativa de custos devidos às novas integrações.

Considera-se que o mapeamento dos locais onde mais ocorrem as baldeações não integradas pode contribuir para o planejamento de transportes, sobretudo nos locais fora dos 3 principais centros já conhecidos, que são Derby, Santo Antônio e Afogados. Para os locais 4, 5 e 6, sugere-se implantar a integração temporal priorizando as linhas identificadas, como também a adição de equipamentos públicos nesses locais, tal como ocorre no caso dos terminais fechados da cidade, como suporte à população que depende de baldeação. Tal metodologia é

tida como preferencial a soluções mais generalistas, como integração temporal indiscriminada com limite de tempo, que poderia acarretar em substanciais aumentos de custos ao sistema, aumentando a tarifa inclusive para essa parcela da população alheia ao sistema atual. A análise de em quais linhas mais ocorrem a baldeação não integrada é também uma contribuição para o planejamento das integrações.

Ao apresentar a estimativa monetária necessária para a ampliação da integração tarifária da cidade, o presente estudo contribui para a defesa da ampliação em nível político, evidenciando o impacto que esta ampliação causaria no orçamento repassado ao Consórcio Grande Recife. Mais ainda, a ampliação dos benefícios tarifários tem importante função social ao permitir o deslocamento dos atuais passageiros com o pagamento de uma tarifa única, mais módica, além de que poderá causar até a inserção de novos usuários no sistema de transporte da cidade ao evitar que as pessoas deixem de fazer uso do sistema de transporte público da cidade pelo custo que as duas tarifas implicariam em seu orçamento familiar. Essas pessoas, portanto, têm acessibilidade aumentada às oportunidades, além de potencialmente se tornarem novos defensores do transporte público coletivo.

Apesar de ter como estudo empírico a Região Metropolitana de Recife, o método adotado pode ser utilizado para qualquer cidade dotada de transporte público que ainda carece de sistemas de integração ou até mesmo em cidades com sistemas de integração tarifária fora de terminais ainda incipientes, como no caso de Recife. Dessa forma, dar-se-á subsídios para os órgãos gestores adotarem as integrações nas linhas que efetivamente estão sendo demandadas para a finalização do trajeto dos respondentes, incluindo-os na integração a ser implementada ou já adotada localmente. O método ainda confere a possibilidade de união de linhas que venham a ser identificadas como complementares de um número significativo de viagens da cidade.

Sugere-se para trabalhos futuros a investigação do porquê da ocorrência do alto número de viagens que podem ser feitas por linhas diretas quando simuladas no código de programação, apesar do respondente afirmar utilizar mais de um ônibus em seu trajeto. Isso pode ocorrer pela falta de informação dos usuários quanto às rotas possíveis de trajeto ou ainda pelo rearranjo das linhas do transporte coletivo da RMR em resposta à população que carecia de integrações em seu trajeto na época em que responderam à pesquisa OD. Investimentos em informar o usuário as possibilidades de rotas se fazem necessários para garantir que não esteja ocorrendo transbordos evitáveis, o que torna os deslocamentos dos passageiros mais custosos e demorados, por conseguinte com efeitos mais prejudiciais para a população mais pobre.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CAPES e à FACEPE pelo apoio financeiro para que pudéssemos nos dedicar a essa pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ANTP, (1997). Transporte Humano – cidades com qualidade de vida. São Paulo – SP, Brasil: Associação Nacional de Transportes Públicos.
- Brasil (2012). *Lei Federal nº. 12.587, de 03 de janeiro de 2012 – institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana*. Brasília – DF.
- Cadaval, M. (2006). Integração tarifária e diversificação. *Revista dos Transportes Públicos – ANTP*. Ano 26. 2006 – 1º semestre. p 29 -3.
- Cavalcanti, N. A. H. (2017) *Sistemas de integração de transporte público: a qualidade percebida de terminais de integração – o caso do TI Barro/RMR*. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.
- CTTU (2021) *Transporte Complementar*. Disponível em <https://cttu.recife.pe.gov.br/transporte-complementar-1>. Acessado em 22 de julho de 2021.
- Correa, R. L. (2002) *O espaço urbano*. 4ª edição. Editora Atica, São Paulo, SP.
- Ferraz, A. C. P. e I. G. E. Torres (2004) *Transporte público urbano*. 2ª edição. Editora Rima, São Carlos, SP

- Ferreira, S.S.; Barbosa, H.M. Análise da ocupação veicular para a inserção de beneficiários no transporte coletivo urbano. *The Journal of Transport Literature*. Belo Horizonte, v.10, n.2, p.40-44, 2016.
- Grande Recife (2015). *Linhas do corredor Leste/ Oeste fazem integração temporal com estações de BRT*. Disponível em <<https://www.granderecife.pe.gov.br/sitegrctm/2015/06/14/linhas-do-corredor-leste-oste-fazem-integracao-temporal-com-estacoes-de-brt/>>. Acessado em 16 de agosto de 2021.
- Grande Recife (2019). *Linhas da Região Metropolitana passam a fazer integração temporal neste sábado (7)*. Disponível em <<https://www.granderecife.pe.gov.br/sitegrctm/2019/09/06/linhas-da-regiao-metropolitana-passam-a-fazer-integracao-temporal-neste-sabado-7/>>. Acessado em 16 de agosto de 2021.
- Grande Recife (2020a). *Linha de Água Fria muda operação e passa a realizar integração temporal na via*. Disponível em <<https://www.granderecife.pe.gov.br/sitegrctm/2020/09/24/linha-de-agua-fria-muda-operacao-e-passa-a-realizar-integracao-temporal-na-via/>>. Acessado em 16 de agosto de 2021.
- Grande Recife (2020b). *Linha 2431 – TI CDU (Circular) passa a fazer parte da integração temporal*. Disponível em <<https://www.granderecife.pe.gov.br/sitegrctm/2020/11/04/linha-2431-ti-cdu-circular-passa-a-fazer-parte-da-integracao-temporal/>>. Acessado em 16 de agosto de 2021
- Grande Recife (2020c). *Anuário Estatístico do Sistema de Transporte Público de Passageiros da R.M.R. - 2019*. v.1, Recife, PE
- Grande Recife (2021a). *Sistema Estrutural Integrado (SEI)*. Disponível em <<https://www.granderecife.pe.gov.br/sitegrctm/transporte/sistema-estrutural-integrado/>>. Acessado em 22 de julho de 2021.
- Grande Recife (2021b). *Integração temporal na Zona Norte possibilita mais opções de linhas para o Centro do Recife*. Disponível em <<https://www.granderecife.pe.gov.br/sitegrctm/2021/01/15/integracao-temporal-na-zona-norte-possibilita-mais-opcoes-de-linhas-para-o-centro-do-recife/>>. Acessado em 2 de julho de 2021.
- Grande Recife (2021c). *Tarifas*. Disponível em <<https://www.granderecife.pe.gov.br/sitegrctm/transporte/tarifas/>>. Acessado em 16 de outubro de 2021.
- Grande Recife (2022). *TI Aeroporto, no Setúbal, passa a operar por meio da integração temporal*. Disponível em <<https://www.granderecife.pe.gov.br/sitegrctm/2022/04/04/ti-aeroporto-no-setubal-passa-a-operar-por-meio-da-integracao-temporal/>>. Acessado em 5 de abril de 2022.
- Ibold, S.; N. Medimorec e A. Wagner (2020) *O surto de COVID-19 e suas implicações para o transporte público sustentável: algumas considerações*. TUMI, Bonn e Eschborn, Alemanha, 31 mar. 2020. Disponível em <<https://www.sutp.org/o-surto-de-covid-19-e-suas-implicacoes-para-o-transporte-publico-sustentavel-algumas-consideracoes/>> Acessado em 21 de julho de 2021.
- Instituto da Cidade Pelópidas Silveira (2020). *MATRIZES ORIGEM-DESTINO*. Disponível em <<http://icps.recife.pe.gov.br/node/61317>> . Acessado em 20 de julho de 2021.
- Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2019). *ACESSO A OPORTUNIDADES*. Disponível em <<https://www.ipea.gov.br/acessoportunidades/mapa/>> . Acessado em 21 de julho de 2021.
- Oliveira, G. (2013). *Integração tarifária temporal nos sistemas de transporte público por ônibus*. Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro
- PERNAMBUCO (2021) *Lei Ordinária nº 17.550, de 21 de dezembro de 2021*. Disponível em: <<https://drive.expresso.pe.gov.br/s/VP3kCmgUAWwv1x>>. Acessado em 1 de março de 2022.
- Seabra, S. F. A.; Martins, L. B. (2015) Contribuição ergonômica para um transporte público humanizado: um estudo nos terminais do Grande Recife. *Blucher Design Proceedings*, v. 2, p. 272-283.
- Da Silva , Severino Jefferson Ribeiro et al., (2021). *Widespread contamination of SARS-CoV-2 on highly touched surfaces in Brazil during the second wave of the COVID-19 pandemic*. *Environmental Microbiology*, v. 23, n. 12, p. 7382-7395.
- Soriano, M. A. G. et al., (2016). Operação de sistemas de transporte público metropolitano: terminais fisicamente integrados ou integração temporal? In: Congresso luso brasileiro para o planejamento urbano, regional, integrado e sustentável, 7., 2016, Maceió. Anais [...]. Maceió: Viva Editora, 2016.
- Xia, Nan et al.(2018). *Accessibility based on Gravity-Radiation model and Google Maps API: A case study in Australia*. *Journal of Transport Geography*, v. 72, p. 178-190.
- Muñoz-Villamizar, A. et al.(2021). *Study of urban-traffic congestion based on Google Maps API: the case of Boston*. *IFAC-PapersOnLine*, v. 54, n. 1, p. 211-216.
- García-Albertos, Pedro et al.(2019). *Exploring the potential of mobile phone records and online route planners for dynamic accessibility analysis*. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 125, p.

294-307, 2019.

Costa, Cayo; HA, Jaehyun; Lee, Sugie.(2021) *Spatial disparity of income-weighted accessibility in Brazilian Cities: Application of a Google Maps API*. Journal of Transport Geography, v. 90, p. 102905.

Achempong, Ransford A.; Asabere, Stephen Boahen(2022). *Urban expansion and differential accessibility by car and public transport in the Greater Kumasi city-region, Ghana—A geospatial modelling approach*. Journal of Transport Geography, v. 98, p. 103257.

Amini-Behbahani, Peiman; Meng, Li; Gu, Ning. (2020). *Walking distances from services and destinations for residential aged-care centres in Australian cities*. Journal of transport geography, v. 85, p. 102707.

Hu, Yujie et al. (2020) *Estimating a large drive time matrix between ZIP codes in the United States: a differential sampling approach*. Journal of transport geography, v. 86, p. 102770.

Dong, Han; Cirillo, Cinzia. (2020). *Space-time dynamics: A modeling approach for commuting departure time on linked datasets*. Journal of Transport Geography, v. 82, p. 102548.

Boisjoly, Geneviève et al. (2020) *Accessibility measurements in São Paulo, Rio de Janeiro, Curitiba and Recife, Brazil*. Journal of Transport Geography, v. 82, p. 102551.

Fielbaum, Andrés; Jara-Díaz, Sergio. (2021). *Assessment of the socio-spatial effects of urban transport investment using Google Maps API*. Journal of Transport Geography, v. 91, p. 102993.

Frei, Charlotte; Hyland, Michael; Mahmassani, Hani S.(2017) *Flexing service schedules: Assessing the potential for demand-adaptive hybrid transit via a stated preference approach*. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, v. 76, p. 71-89.

Wagner, Jan MS et al.(2020) *Travel Time Estimation by means of Google API Data*. IFAC-PapersOnLine, v. 53, n. 2, p. 15434-15439.

Chang, Zheng et al.(2019). *Public transportation and the spatial inequality of urban park accessibility: New evidence from Hong Kong*. Transportation Research Part D: Transport and Environment, v. 76, p. 111-122