



Otimização de Rotas de Ônibus baseada em Demanda obtida por Dados de Posicionamento GNSS

Bus Route Optimization based on Demand obtained by GNSS Positioning Data

Henrique Candido de Oliveira ¹, Rafael Lino dos Santos ², Luciano Aparecido Barbosa ³, Diogenes Cortijo Costa ⁴, Ricardo Antunes Barbosa ⁵, Rafael Pereira de Souza ⁶

¹ Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil. E-mail: hcandido@unicamp.br;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2783-4668>

² Universidade Estadual de Campinas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Brasil. E-mail: rafael.linoeac@gmail.com;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5184-616X>

³ Universidade Estadual de Campinas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Brasil. E-mail: luciano.lgpusp@gmail.com;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7973-0708>

⁴ Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil. E-mail: dcortijo@unicamp.br;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0084-6252>

⁵ Universidade Estadual de Campinas, Prefeitura do Campus, Campinas, Brasil. E-mail: ricardob@unicamp.br;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2385-9339>

⁶ Universidade Estadual de Campinas, Prefeitura do Campus, Campinas, Brasil. E-mail: rafaelps@unicamp.br;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0416-9690>

Recebido: 11.2019 | Aceito: 04.2020

Resumo: O crescimento urbano na perspectiva de território e população se tornou uma das maiores preocupações deste século. Em função deste fenômeno, órgãos de planejamento e gestão de transporte público do país buscam ofertar um serviço de qualidade baseado em um sistema otimizado da rede de transporte. Entender a demanda de passageiros constitui-se como uma tarefa fundamental deste processo. Assim, o método proposto neste trabalho prevê a determinação da demanda de volume de passageiros de forma automatizada a partir de dados de posicionamento GNSS (*Global Navigation Satellite System*) fornecidos por uma plataforma IoT (*Internet of Things*). O trabalho tem por objetivo identificar variações de demanda de passageiros, a partir do uso de mapas de densidade, e otimizar rotas do serviço de transporte público, tendo a Universidade Estadual de Campinas como área de estudo. Experimentos foram realizados a partir de uma das rotas que compreendem o sistema de transporte da Universidade. Os resultados foram satisfatórios, pois apresentaram uma redução de 1,43 km em relação ao percurso realizado pela rota original, representando um impacto financeiro inicial de aproximadamente 18% de redução do custo total anual com a contratação de serviço de transporte. Portanto, o método apresenta-se como uma alternativa viável para obtenção de dados fundamentais para tarefa de roteirização para as linhas de ônibus do campus, podendo ser replicado para os demais trajetos que compõem o sistema de transporte público da Universidade.

Palavras-chave: Transporte público. Demanda de passageiros. Posicionamento GNSS. Internet das Coisas. Roteirização.

Abstract: Urban growing from the perspective of territory and population became one of the main world's concerns of this century. Due to this phenomenon, public transportation management agencies seek to provide a high level of service based on an optimized transportation network systems. Understanding the demand level is an important task in this process. Thus, the proposed method aims to define automatically the variation of bus passengers demand using GNSS (*Global Navigation Satellite System*) positioning data provided by an Internet of Things (IoT) platform. In addition, this work aims to identify variations on passenger volume through density maps and optimize public transport service routes. The University of Campinas was set as the study area. Experiments were performed from one of the routes of the university transportation system. The results were satisfactory, as they showed a reduction of 1.43 km in distance compared to the original route, which represents an initial cost expense reduction of 18% to the annual transportation service contract. Therefore, the method presents itself as a feasible alternative for obtaining fundamental data for routing tasks for campus bus lines, and it can be replicated for the other routes of the university's public transport system.

Keywords: Public transportation. Passenger demand. GNSS positioning. Internet of Things. Routing.

1 INTRODUÇÃO

Segundo pesquisa realizada pela Embrapa em 2015, as áreas urbanas representam apenas 0,63% do território brasileiro (21.285 km²), onde vivem aproximadamente 160 milhões de pessoas (84,3% da população). De acordo com IBGE (2019), existem dezessete cidades brasileiras que possuem mais de um milhão de habitantes. Estas cidades são consideradas grandes centros urbanos que possuem alta demanda dos meios de transporte público.

Conforme apresentado por Noland e Lem (2002), políticas de transporte são influenciadas pelo desejo de promover um sistema eficiente e acessível para a mobilidade de pessoas e bens no espaço urbano, por meio de tentativas de diminuir o congestionamento no trânsito. Em função do grande crescimento populacional e de mudanças no uso do solo, novos métodos para planejamento de transporte têm sido explorados (CEBELAK; JIN; WALTON, 2016).

De acordo com Datta (2000), o transporte é essencial para o desenvolvimento, uma vez que une pessoas às suas necessidades de deslocamento, fornecendo acesso a empregos, saúde e educação, entre outras utilidades públicas. Evidencia-se, neste contexto, o grande número de viagens diárias necessárias ao cumprimento das atividades de trabalho, escola e lazer, atendidas pelos diferentes modais, como por exemplo, bicicletas, motocicletas, automóveis e ônibus.

O transporte público coletivo nos grandes centros urbanos apresenta-se como um serviço essencial nas cidades, uma vez que promove a mobilidade urbana, sendo um meio de transporte imprescindível na redução de congestionamentos, níveis de poluição e uso de automóvel particular, além de minimizar a construção de vias e estacionamentos (ARAÚJO et al., 2011). De acordo com Rakhmatullina, Sivaks e Pecherskaya (2019), o sistema de transporte coletivo tem um importante papel sobre a mobilidade urbana, uma vez que este ocupa menos espaço, transportando um número maior de pessoas com um menor consumo de energia. Tal sistema também promove o desenvolvimento da economia de um município pois se relaciona com processos de produção e consumos de bens e serviços (PNMU, 2012).

A Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 prevê que o transporte coletivo urbano seja responsabilidade do Poder Público - união, estados ou municípios (BRASIL, 1988). De acordo com dados divulgados pela Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP), o modal rodoviário representado pelo transporte por ônibus urbano contempla 28% das viagens feitas em cidades brasileiras com população superior a 60 mil habitantes (ANTP, 2016). A Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos (NTU) aponta que o sistema de transporte público urbano por ônibus atende 87% da demanda de transporte coletivo, sendo responsável pelo transporte diário de 40 milhões de passageiros. O serviço conta com uma frota operante de 96.300 veículos que percorrem mensalmente 7.938 bilhões de quilômetros (NTU, 2012).

Entender a dinâmica de passageiros na rede de transporte público tem se tornado tarefa importante para as agências de trânsito. Para tal entendimento, a abordagem sobre a Pesquisa Operacional (PO) tem servido como importante ferramenta na determinação de rotas ideais nos serviços de transporte urbano (MANDL, 1980). O planejamento da PO implica em como operações devem ser conduzidas para oferecer o serviço proposto a um custo mínimo, incluindo uma variedade de problemas como definição de rotas, programação de veículos e motoristas, estacionamento e controle de saída de ônibus em garagens, entre outros (DESAULNIERS; HICKMAN, 2007). Contudo, a PO pode se mostrar inviável quando aplicada em grandes centros urbanos devido à dificuldade em coletar os dados de forma manual, bem como obter uma boa acurácia das informações.

Assim, faz-se necessário coletar informações e dados com precisão para se modelar o sistema de transporte de forma adequada. De acordo com Nasir, Gharib e Jaafar (2018), informações e dados precisos são fundamentais no aumento da performance e efetividade de um sistema. Álvarez et al. (2013) afirmam que o entendimento da demanda atual e futura de um sistema se faz necessário na determinação de rotas de trânsito, de forma que se obtenha um serviço eficiente, confortável, seguro e econômico.

O uso de tecnologias implica no desenvolvimento de sistemas que permitem contar de forma automática o número de passageiros e com isso alimentar um modelo capaz de prover a demanda de um sistema de transporte público. Grande parte dos contadores automáticos consistem em sensores infravermelhos (SOUZA et al., 2011), câmeras e processamento de imagens (QIAN; YU; FA, 2017; HERNANDEZ;

CASTRILLON; LORENZO, 2010) e sinais Wi-Fi (MATSUI et al., 2017; KALIKOVA; KRCAL, 2018).

Outros pesquisadores utilizam abordagens distintas para o estudo destas demandas em aplicações de Transporte. Pode-se destacar os seguintes trabalhos encontrados na literatura: Patnaik, Chien e Bladikas (2004) utilizam um contador automático de passageiros, associado à dispositivos de monitoramento do veículo, para verificar correlação entre variáveis do transporte público, a exemplo do tempo de parada do veículo e o número de usuários embarcando e desembarcando em pontos específicos. Tal abordagem apresentou alta correlação positiva entre essas duas variáveis; El-Tawab et al. (2017) avaliaram o uso de dispositivos de IoT para envio e armazenamento de informações em terminais de ônibus. Tal pesquisa utiliza a detecção de sinais de WiFi para identificar demanda de passageiros, assim como o tempo de espera médio para diferentes terminais. Esse estudo destacou a versatilidade do uso de plataformas IoT para aplicações em terminais de Transporte; e Yu e He (2017) realizam testes de análise espacial de demanda de usuário em transporte público (via identificação de padrões), baseada em dados de bilhete eletrônico (*smart card*) associado a mapas de calor multi-temporal. Os autores apresentam resultados que evidenciam o potencial de tal produto cartográfico para planejamento de transporte público.

Como destacado, os autores apresentados nesta seção utilizam diferentes técnicas para automatizar o transporte público de passageiros. Com isso, este projeto tem como contribuição a proposta de um novo método para otimização de rotas, com base em dados coletados por dispositivos de IoT de forma cinemática e uso de mapas de calor para estimativa de demanda de usuários. Em função dos bons resultados obtidos por Patnaik, Chien e Bladikas (2004), parte-se da premissa de que o tempo de parada de veículo possui alta correlação positiva com a demanda de usuários - premissa essa a ser validada também para este projeto.

A metodologia proposta neste trabalho tem como principal objetivo estimar a demanda de volume de passageiros a partir de dados de posicionamento GNSS (*Global Navigation Satellite System*), a fim de avaliar o uso de mapas de densidade/calor gerados com dados fornecidos por um dispositivo de rastreamento GNSS. Isso deve ser feito para reduzir custos operacionais que, em muitas vezes, acarretam valor desnecessário acrescentado à tarifa. Para isso, a metodologia apresentada neste trabalho implica em uma coleta automatizada de dados, aumentando a eficiência no estudo de demanda, e consequentemente na otimização de rotas do transporte público por ônibus convencional.

1.1 Definição de Rotas em Transporte Público Urbano

Para Chang, Tai e Hsu (2007), a roteirização no transporte público é diferente do problema tradicional de roteirização de veículo. A definição de rotas no transporte público limita-se pelo fato do sistema atender pontos de parada obrigatórios, servidos por rotas específicas em uma ordem predefinida com uma limitação de capacidade e horário. Quando se trata de transporte público por ônibus, cada veículo está sujeito a uma lotação devido a um limite de carregamento, e por consequência o nível do serviço tende a declinar em função do aumento do seu uso (MUÑOZ; GIESEN, 2010). O sistema não é independente como o sistema de roteirização de veículos particulares os quais podem transitar “livremente” durante seu percurso. Assim, se deslocar de um ponto origem a um ponto destino utilizando um transporte público requer mais de uma rota de serviço (CHANG; TAI; HSU, 2007).

Para Deng (2018) a roteirização de ônibus consiste em uma maneira eficiente de atrair novos passageiros, ao mesmo tempo que aumenta o alcance do sistema de transporte público, tornando-se assim ferramenta essencial no planejamento e gestão do transporte público urbano por ônibus.

A eficiência de um sistema de transporte público é um dos fatores responsáveis pela qualidade da mobilidade dentro do espaço urbano, sendo esta eficiência, muitas vezes investigada por órgãos de transporte. Contudo, um sistema de transporte pode não ter um desempenho esperado devido a interrupções no serviço, incidentes nas estradas, variações e incertezas na demanda, entre outros eventos inesperados (MANASRA; TOLEDO, 2019). Assim, o processo de estruturação de uma rede de transporte coletivo, ou de determinação de linhas de ônibus é considerado como um grande desafio aos órgãos de planejamento e gestão de transporte do país (VIEIRA, 1999).

A publicação *Bus Route Evaluation Standards* conta com um conjunto de informações sobre padrões de avaliação de rotas de ônibus e os critérios utilizados por agências de trânsito nos Estados Unidos e Canadá,

servindo de auxílio no planejamento otimizado da rede de transporte público (BENN, 1995). Ceder e Wilson (1986) apresentam 5 níveis de processos envolvidos no planejamento do sistema de transporte público por ônibus (Quadro 1).

Quadro 1 - Níveis de planejamento de um sistema de ônibus.

Nível	Entradas Independentes	Atividade de Planejamento	Saídas
A	Dados de demanda Dados de oferta Índices de performance da rota	Projeto de rede	Mudanças de rotas Novas rotas Estratégias operacionais
B	Subsídio e frota disponíveis Políticas de atendimento e Operação anual Demanda por hora	Determinação de frequências	Frequência de serviços ofertados
C	Hora da primeira e última viagem Tempo de viagem	Desenvolvimento da tabela de horários das viagens	Horários de partida e chegada das viagens
D	Tempo de espera e retorno Restrição de despacho	Programação de despacho (<i>scheduling</i>) dos ônibus	Tabela de despacho dos ônibus
E	Regras de trabalho dos condutores e cobradores Estrutura de custo operacional	Alocação de mão-de-obra	Horários de trabalho da equipe

Fonte: Adaptado de CEDER; WILSON (1986).

Os autores ressaltam a importância do nível A sobre os demais níveis, por este nível apresentar dados de demanda e oferta do sistema, bem como os índices de desempenho da rota, tornando-se base para a formulação do processo de planejamento.

Para Muñoz e Giesen (2010) o planejamento otimizado de uma rede de transporte se baseia em níveis de estruturas de decisão, incluindo os níveis operacionais, táticos, estratégicos e de controle. No nível estratégico, inclui-se a determinação de rotas, principal objeto de estudo deste trabalho, bem como dados de demanda e oferta do serviço de transporte. A demanda de passageiros em um serviço de ônibus consiste em um aspecto importante a ser considerado, pois se relaciona com o número de embarques e desembarques ocorridos ao longo da trajetória de um veículo (ALGUERÓ, 2013).

1.2 Mapas de Densidade

Para representar a densidade de variáveis, neste trabalho foram utilizadas representações por meio de mapas de calor (mapas de densidade). Wilkinson e Friendly (2009) definem um mapa de calor como sendo uma exibição que revela, simultaneamente, uma estrutura hierárquica de linha e coluna em uma matriz de dados. Nesta matriz cada célula está sombreada em uma escala de cores para representar o valor do elemento correspondente da matriz de dados.

Para Weinstein (2008) um mapa de calor consiste em uma representação gráfica capaz de retratar uma grande quantidade de informações em um pequeno espaço (grade retangular), a fim de definir uma matriz de dados de acordo com uma célula de cores correspondentes. Estes mapas utilizam agrupamentos estatísticos no qual as margens horizontais e verticais possuem árvores hierárquicas do agrupamento, o que facilita a inspeção da estrutura matricial (WILKINSON; FRIENDLY, 2009).

Babicki et al. (2016) definem alguns exemplos de utilização dos mapas calor como: mapas baseados em expressão a partir de experimentos biológicos; mapas de distância emparelhada; mapas de correlação; mapas de sobreposição de imagens; mapas geopolíticos. Além disso, outras aplicações podem ser mencionadas, como por exemplo, visualização de concentração de tipos de crime, ocorrência de acidentes de trânsito, monitoramento de terremotos, entre outros.

Segundo Yu e He (2017), na utilização dos mapas de calor, a distribuição discreta da demanda de viagens nos pontos de ônibus pode ser representada como uma distribuição contínua de cores, onde a intensidade da demanda de viagens e os pontos ativos da viagem são intuitivamente revelados. Um estudo de caso comprovou a eficiência da utilização dos mapas de densidade na visualização de padrões de demanda por

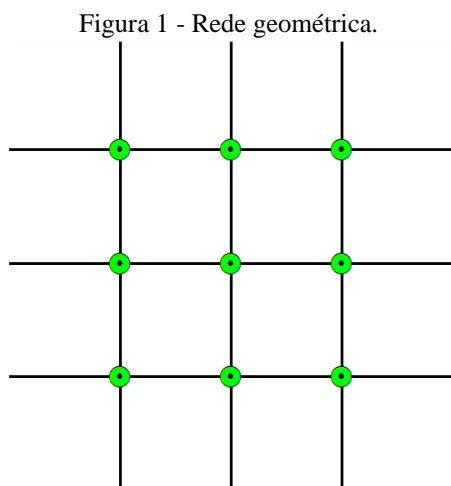
viagens em uma área de estudo da China.

Assim, neste trabalho, estes mapas são gerados com o intuito de representar regiões de uma rota do transporte público com maiores e menores demandas de usuários - etapa fundamental para o processo de roteirização.

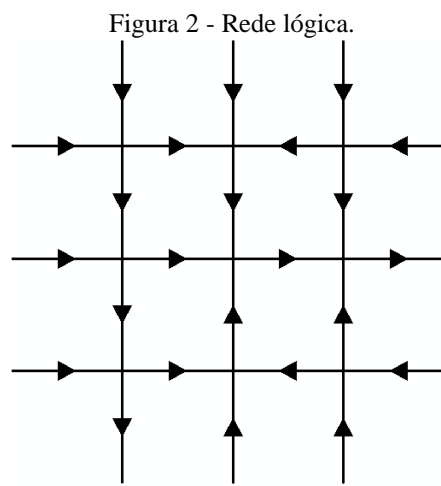
1.3 Arquivo de Rede Lógica

Um arquivo de rede pode ser definido como um conjunto de elementos topologicamente conectados, normalmente utilizados para representar uma rede linear, como um sistema rodoviário e metroviário. Segundo Tavares et al. (2009), um arquivo de rede é composto por componentes conectados, incluindo nós, segmentos de linha e atributos ou pesos dedicados a cada segmento. A construção de um arquivo de rede relaciona-se com os principais elementos envolvidos na rede geométrica (Figura 1), o que inclui segmento de linha e nós, este último formado pela intersecção de dois segmentos de linhas (ESRI, 2019b).

De acordo com Erfani et al. (2017), ao definir um arquivo de rede, o processo de roteirização pode ser analisado e atributos como restrições, barreiras, direção de fluxo, entre outros, podem ser estabelecidos, caracterizando assim uma rede lógica. Esses atributos da rede são definidos para cada segmento da rede – cada via. Tempo de viagem, restrições de veículos em trechos específicos, limite de velocidade e vias de mão única são outros exemplos desses atributos. Portanto, a análise de rede permite a definição de rotas ideais, como por exemplo, a rota mais rápida (minimizando o tempo) ou a rota mais curta (minimizando a distância). A Figura 2 reproduz a constituição de uma rede lógica, cujos segmentos de retas, representados por setas, ilustram o sentido lógico das vias.



Fonte: Os autores (2020).



Fonte: Os autores (2020).

Neste trabalho a rede lógica é utilizada para redefinir rotas, isto é, para atualizar rotas existentes, com base em demandas de passageiros para uma determinada região. Para isso, a criação da rede geométrica (vetorização sobre ortoimagem convencional) foi realizada e posteriormente conectada à rede lógica (tabulação contendo direção e restrições de vias para cada segmento da rede geométrica).

2 MATERIAIS E MÉTODO

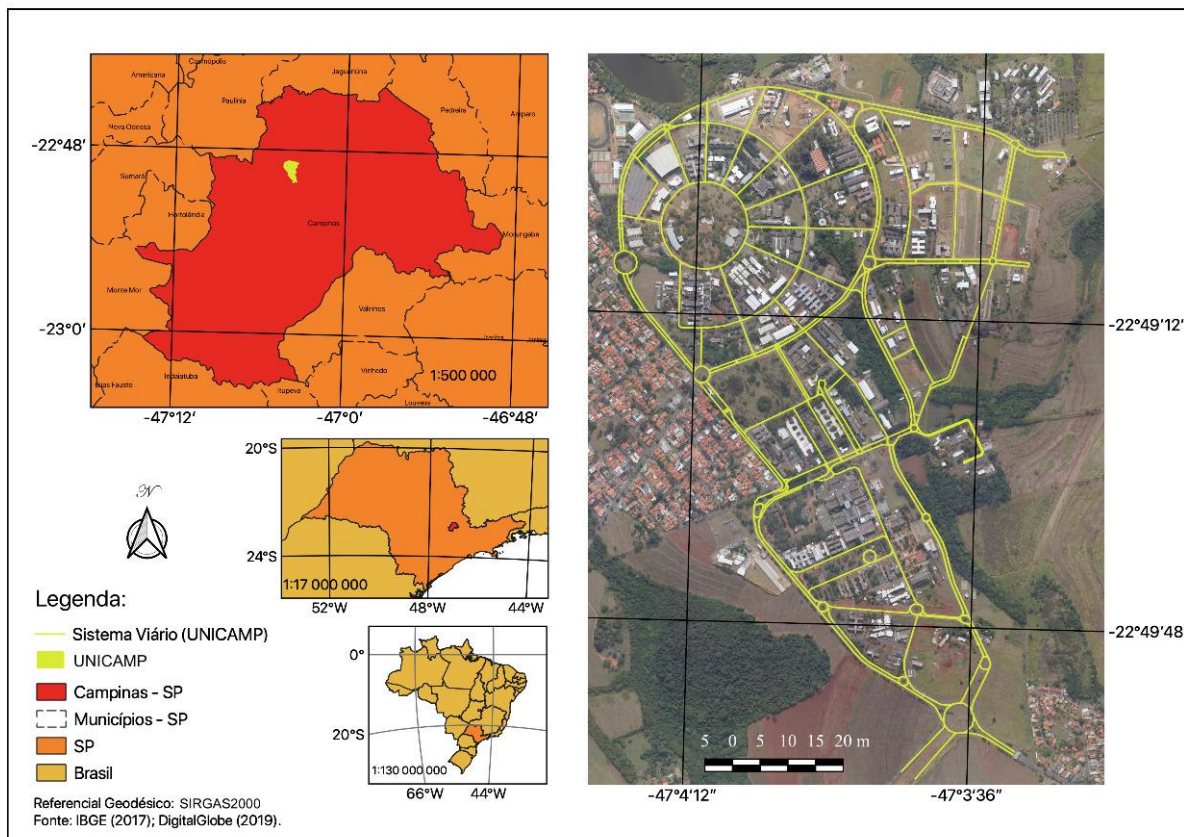
2.1 Área de Estudo

Este trabalho tem como área de estudo o campus de Barão Geraldo da Universidade Estadual de Campinas, localizado na cidade de Campinas – SP. O campus possui um fluxo diário de aproximadamente 100 mil pessoas, dentre as quais estão os alunos, funcionários e a comunidade externa que frequenta o campus, principalmente, em função do Hospital das Clínicas.

Em função da sua extensão territorial, o campus conta com um serviço de transporte público interno,

denominado Circular Interno, que conta com 3 linhas em atividade diurna (Circular I, Circular II via FEC e Circular II via Museu) e ainda, uma linha com translado noturno (Circular Noturno). Além desses serviços, a Universidade conta com o Circular Moradia, responsável pelo transporte de alunos que residem na Moradia Estudantil da Unicamp (fora do campus). O Circular Interno é um serviço gratuito e atua em uma extensão viária de 37,6 km (Figura 3).

Figura 3 - Sistema viário da Unicamp (Campus Barão Geraldo).



Fonte: Os autores (2020).

2.2 Materiais

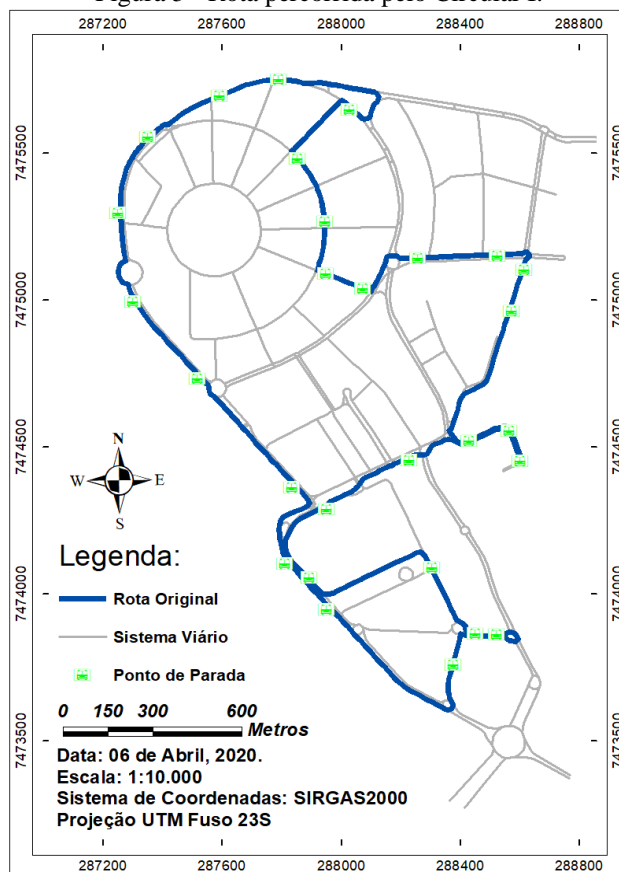
Este estudo utilizou como fonte de dados, as informações fornecidas pela Plataforma IoT Circulino (Barbosa et al., 2019) desenvolvida pelo projeto SmartCampus da Unicamp. Tais dados referem-se ao Circular I (Figura 4) e a sua respectiva rota (Figura 5) que realiza seu trajeto completo em tempo médio de 20 minutos, perfazendo atualmente uma distância de 8.590 metros, englobando grande parte da extensão do campus. Diariamente são realizadas aproximadamente 40 viagens, entre às 6h30 e 19h20, efetuadas por dois veículos. Vale ressaltar, que as rotas do serviço interno não sofrem alterações em qualquer período do ano, sendo este considerado um dos pontos críticos do sistema de transporte do campus, cuja investigação visando otimização do sistema é objetivo deste trabalho

Figura 4 - Ônibus Circular I.



Fonte: Os autores (2020).

Figura 5 - Rota percorrida pelo Circular I.



Fonte: Os autores (2020).

Dispositivos de rastreamento e comunicação, pertencentes à Plataforma IoT Circulino, fornecem dados de posicionamento GNSS durante todo o período de funcionamento do serviço de transporte e armazenam-os em um banco de dados em nuvem (pertencente à Universidade). Os dados de localização dos veículos rastreados são acompanhados por um sistema de gerenciamento que permite o monitoramento das rotas e gestão do transporte público interno.

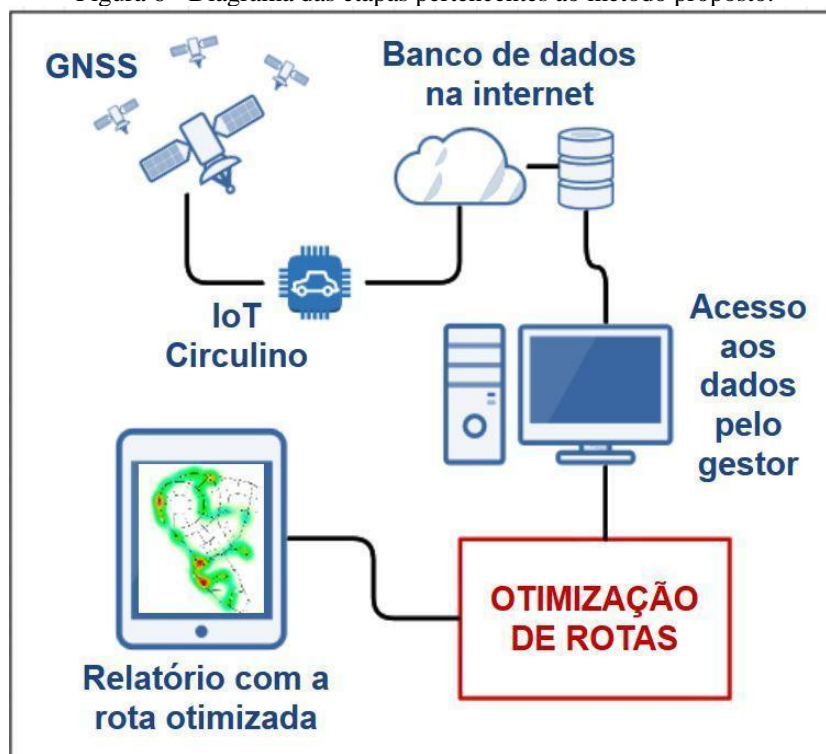
Portanto, o gestor do serviço de transporte pode definir um período de coleta dos dados de rastreamento e, utilizando o método proposto, gerar um relatório de eficiência de rotas, em conjunto com uma proposição

de melhoria para o traçado.

2.3 Método

O método proposto neste trabalho pode ser incorporado no fluxo existente de armazenamento dos dados de rastreamento, fornecendo novas funcionalidades a partir da estrutura utilizada no projeto SmartCampus, conforme ilustra a Figura 6.

Figura 6 - Diagrama das etapas pertencentes ao método proposto.

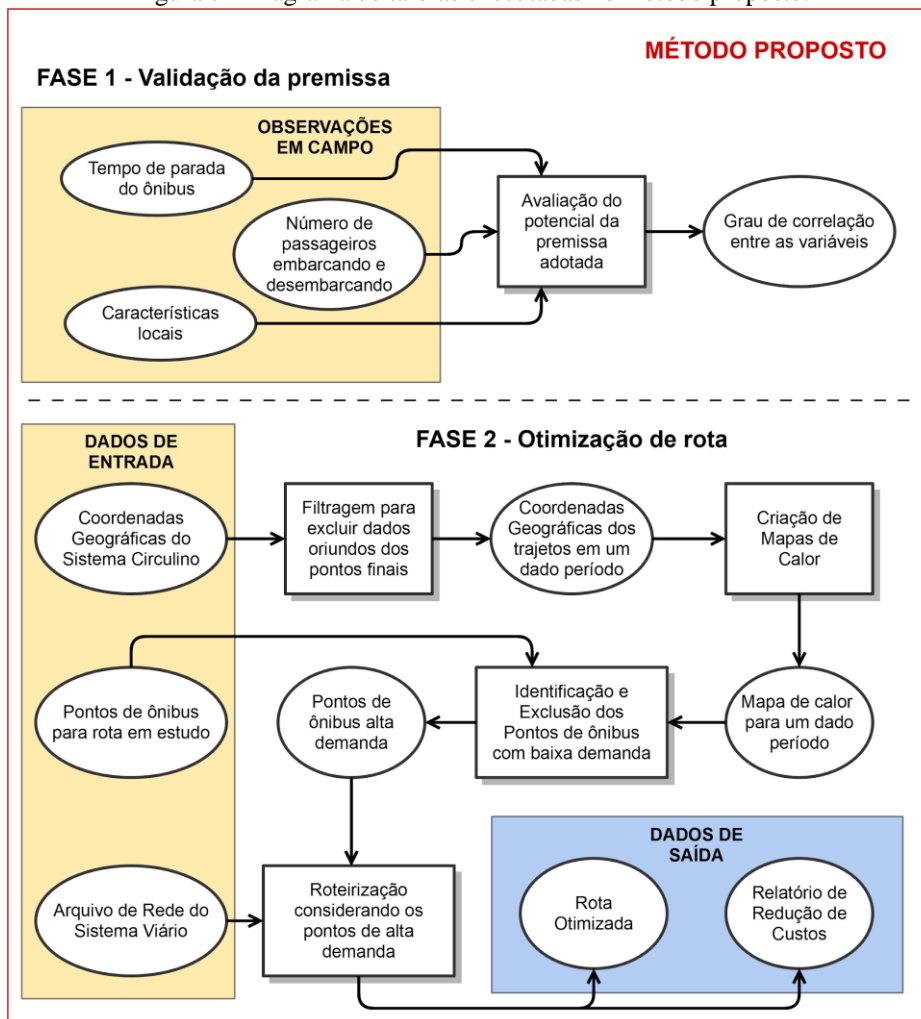


Fonte: Os autores (2020).

O diagrama apresentado a seguir (Figura 7), destaca as principais tarefas para execução do trabalho, com destaque para: validação da premissa, dados de entrada, otimização de rotas e dados de saída. De maneira geral, o objetivo do método proposto é identificar pontos de parada com altas e baixas densidades (demandas), para isso são utilizados os dados extraídos da plataforma IoT Circulino (coordenadas do rastreamento dos ônibus) que são traduzidos em tempos de parada do ônibus, neste caso, relacionado à demanda de usuários. Esta identificação é feita com base em mapas de calor gerados a partir da densidade dos dados de posicionamento GNSS de um determinado período. A rotina utilizada considera o tempo de permanência do veículo em um ponto de parada, assumindo que este tempo de permanência está relacionado a quantidade de usuários que sobem e descem na mesma, logo, os *hotspots* indicarão os pontos de parada com maior demanda. A lógica inversa é utilizada para identificar os pontos com menor demanda, ou seja, locais com baixo tempo de permanência do veículo (menor quantidade de observações GNSS).

Os *hotspots* são identificados a partir de mapas de densidade que podem ser gerados pelas ferramentas *Point Density* e *Kernel Density*, no software ArcGIS 10.7, responsáveis por calcular a densidade em torno de cada célula de um ponto (ESRI, 2019a). O detalhamento das etapas que compõem o método proposto, e indicam a importância da identificação dos *hotspots*, pode ser visualizado na Figura 7.

Figura 7 - Diagrama de tarefas executadas no método proposto.



Fonte: Os autores (2020).

FASE 1 - Validação da premissa adotada: De acordo com Patnaik, Chien e Bladikas (2004) e Yu, Lam e Taj (2011), o número de passageiros atendidos (embarques e desembarques) e o tempo real de permanência de um dado veículo sem movimento (*dwell time*) em cada ponto de parada possui alta correlação positiva. Considerando tal afirmação, este trabalho tem como fase inicial a validação dessa premissa para a região de interesse. Para isso, são realizadas observações em campo e verificada a correlação entre as variáveis “tempo de parada do veículo” e “número total de embarques e desembarques”. Tal validação é fundamental para avaliar se o método proposto neste projeto pode ou não ser aplicado para a área de interesse.

FASE 2 - Dados de entrada: O mapeamento do sistema viário da região de interesse é importante no método proposto, pois ele irá fornecer o sentido de tráfego atualizado das vias. Esse mapeamento pode ser executado de várias maneiras, desde: levantamento topográfico, posicionamento GNSS, Fotogrametria, Sensoriamento Remoto ou ainda por uma combinação desses. Neste trabalho a base foi elaborada utilizando uma ortoimagem convencional com GSD (*Ground Sample Distance*) de 10 cm, além de observações em campo (sentido das vias e restrições). É imprescindível que essa base cartográfica seja transformada em um arquivo de rede, relacionando a rede geométrica (geometria das vias) com a rede lógica (atributos de direção, impedimentos para execução de funções de custo e roteirização).

A construção da rede lógica é realizada por meio da inclusão da restrição de uso da via, atribuindo ao arquivo de rede informações sobre o sentido de direção de cada segmento da via. Para atribuição dessa restrição é necessário criar um campo denominado “Sentido da Via” na tabela de atributos do arquivo da rede viária. Dessa forma, as informações referentes ao sentido das vias (mão única ou dupla) são associadas à geometria da rede viária. Este processo de criação da rede lógica foi realizado no *software* ArcGIS 10.7.

O mapeamento dos pontos de parada do sistema de transporte é importante pois, o método proposto considera a proximidade espacial desses locais com o conjunto de coordenadas geográficas fornecidas pela

Plataforma IoT Circulino, referente ao deslocamento do veículo na rota em questão para um dado período.

FASE 2 - Otimização de rotas: O primeiro passo a ser realizado após a obtenção das coordenadas do veículo é a filtragem de dados relativos ao ponto final/inicial, pois estes locais englobam um período de parada que não representa subida e descida de passageiros, e sim, tempo de adequação entre início e fim de viagens consecutivas. Após essa filtragem, são criados os mapas de calor referentes ao intervalo de tempo escolhido, destacando assim, os pontos de parada com altas e baixas demandas. O resultado desse processamento possibilita desconsiderar os pontos de parada com baixa demanda na tarefa de roteirização, criando assim, um novo trajeto, que contempla apenas os locais com maior demanda de usuários.

FASE 2 - Dados de saída: O resultado do método proposto fornece uma rota otimizada com base na menor distância a ser percorrida para atender os pontos com maior demanda de passageiros. O método também gera um relatório da redução dos custos envolvidos com o serviço de transporte público. Este relatório, tem como objetivo identificar o custo-benefício da nova rota e auxiliar o gestor do sistema na tomada de decisão sobre a possível implementação desta nova rota.

3 EXPERIMENTOS E DISCUSSÕES

O serviço de transporte público e gratuito fornecido pela Universidade aos membros de sua comunidade, possui rota fixa durante todo o ano, seja em período letivo (de março a junho e de agosto a dezembro) ou em período de férias escolares (janeiro, fevereiro e julho). Sabe-se que a utilização do serviço de transporte no período de férias possui uma demanda menor, pois os discentes representam a maioria dos usuários deste modal. Portanto, considerando este aspecto, foram realizados experimentos de validação da proposta, em dois períodos distintos: maio e julho de 2018, correspondentes ao período letivo e não-letivo, respectivamente.

A seguir serão apresentados os resultados relativos à validação da premissa de que quanto maior o tempo de parada do ônibus, maior a demanda. Assim como a identificação dos pontos de parada de alta e baixa demanda da rota correspondente ao Circular I, seguida da proposição de uma nova rota, acompanhada de informações sobre redução de custo, caso a nova rota seja implantada.

3.1 Validação da Correlação entre Embarque/Desembarque e Tempo de Parada

Com o intuito de comprovar a premissa de que quanto maior o tempo de parada de um veículo, maior o número de embarque e desembarque em um ponto de parada, um levantamento de campo foi realizado em diferentes locais, dentro e fora da área de estudo. Foi coletado um total de 70 observações (10 observações por ponto de parada) considerando diferentes horários do período matutino e vespertino. As observações foram coletadas por três pesquisadores em campo em 07 diferentes pontos de parada, em um mesmo dia (uma quinta-feira). Neste levantamento foram coletados os seguintes dados: número de pessoas (embarque e desembarque), tempo em que o veículo ficou parado no ponto de ônibus (realizando a tarefa de embarque e desembarque), situações atípicas e características locais da via. O Quadro 2 apresenta as principais características de cada ponto de parada, bem como situações atípicas observadas.

Quadro 2 - Observações detectadas durante levantamento de campo.

Ponto de Parada	Características	Situações atípicas	Tipo de Via
01	Ao ar livre / sem assento / com recuo	Passageiro com mobilidade reduzida e pedido de informação.	Arterial
02	Ao ar livre / sem assento / sem recuo	Pedido de informação.	Arterial
03	Com abrigo / com assento / sem recuo	Nenhuma situação atípica observada.	Arterial
04	Ao ar livre / sem assento / sem recuo	Passageiro com mobilidade reduzida e pedido de informação.	Coletora
05	Ao ar livre / sem assento / sem recuo	Comportamento inesperado do motorista ao acelerar de forma abrupta após uma parada.	Arterial

Ponto de Parada	Características	Situações atípicas	Tipo de Via
06	Com abrigo / com assento / sem recuo	Nenhuma situação atípica observada.	Coletora
07	Com abrigo / com assento / sem recuo	Nenhuma situação atípica observada.	Arterial

Fonte: Os autores (2020).

A partir das amostras coletadas em campo foi possível calcular o coeficiente de correlação entre as variáveis em estudo (tempo de parada do veículo versus total de embarque e/ou desembarque). De acordo com Ratner (2009), o coeficiente de correlação estabelecido por Karl Pearson em 1896, pode ser definido por um intervalo entre -1 e 1, o que indica uma alta correlação linear negativa e positiva, respectivamente.

Por meio da função de correlação é possível calcular o coeficiente de correlação entre duas propriedades. Neste estudo foi avaliado a relação entre o total de embarque e desembarque em cada ponto de parada com o total de tempo decorrido sob cada evento. A função que define o coeficiente de correlação é descrita por Ratner (2009) e apresentada na Eq. (1).

$$r = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\Sigma(x_i - \bar{x})^2)(\Sigma(y_i - \bar{y})^2)}} \tag{1}$$

onde: r é o coeficiente de correlação; x_i é a variável referente ao total de embarque e desembarque para um dado evento i; y_i é a variável referente ao tempo total de parada do veículo para um dado evento i; \bar{x} é a média das variáveis x; e por fim \bar{y} é a média das variáveis y.

A Tabela 1 destaca os valores de coeficiente de correlação entre as variáveis em questão para cada ponto de parada (composto por 10 observações cada). A média do coeficiente de correlação para todas observações foi de 0,92, demonstrando alta correlação positiva entre as variáveis, e conseqüentemente, que a premissa adotada é válida para a região de estudo.

Tabela 1 - Coeficientes de correlação entre as variáveis.

Ponto de parada	Coeficiente de correlação
01	0,90
02	0,87
03	0,97
04	0,84
05	0,96
06	0,95
07	0,96

Fonte: Os autores (2020).

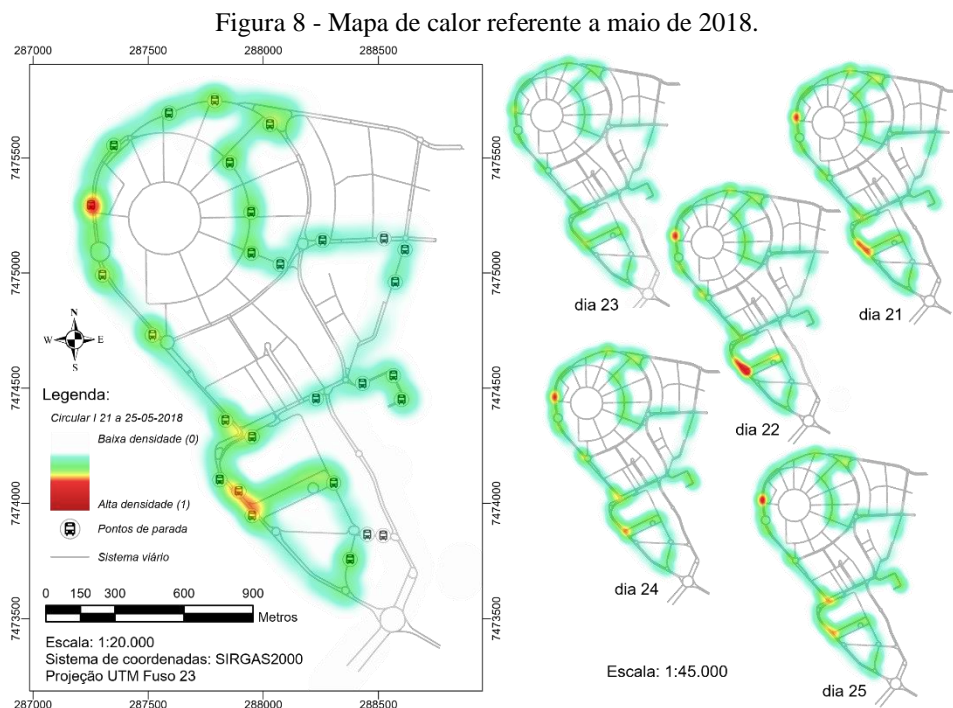
Fatores observados em campo podem interferir na relação entre o tempo de parada com a demanda de usuários em cada ponto de ônibus, como por exemplo, presença de passageiros com mobilidade reduzida, classe de via (local, arterial, expressa etc.), quantidade de portas por veículo e pedidos de informação por parte dos passageiros. Outros fatores também podem influenciar na premissa adotada neste trabalho, a exemplo de regiões com alto grau de congestionamento, comportamento dos motoristas e presença de recuo para área de embarque e desembarque. Todos esses fatores podem implicar em um maior ou menor tempo de parada para realização de um embarque e/ou desembarque, e conseqüentemente variações dos coeficientes de correlação mencionados anteriormente. Considera-se necessária a identificação destas características a priori para reprodução adequada do método proposto. Entretanto, para os locais que possuem redundância de dados de

posicionamento dos veículos (a exemplo da plataforma IoT Circulino), os fatores externos mencionados anteriormente terão menor influência nos resultados obtidos com este método. Outra questão importante é que o gestor do serviço de transporte deve analisar o grau de correlação, sendo indicado que seja superior a +0,80 (com base nos experimentos) para que o método possa ser replicado.

3.2 Definição dos Mapas de Densidade para Identificação de Hotspots

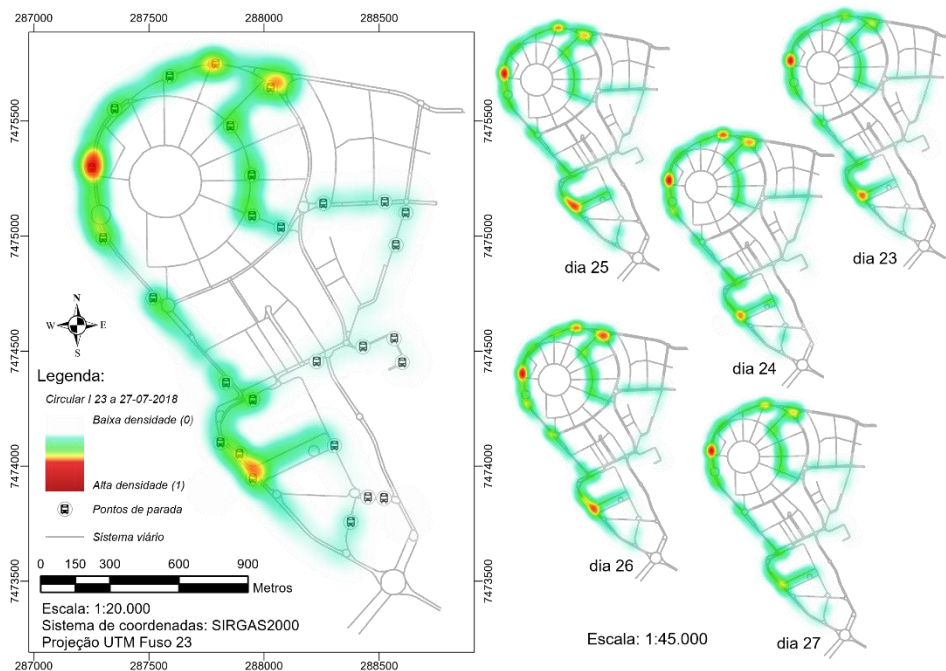
Para criação dos mapas de densidade, foram selecionados dois períodos do ano de 2018: período 1 - entre os dias 21 e 25 de maio (período letivo) e período 2 - entre 23 e 27 de julho (período de férias escolares), totalizando aproximadamente 160 mil observações (coordenadas dos trajetos do Circular I). Os mapas foram gerados no *software* ArcGIS 10.7 utilizando a ferramenta *Kernel Density* com os seguintes parâmetros de entrada: “*Input point or polyline features*”: o arquivo *shapefile* referente ao rastreamento GNSS do Circular I; “*Population field*”: NONE; “*Output cell size*”: 1; “*Search radius*”: 100; “*Area units*”: Square meters; “*Output cell values*”: Densities; e “*Method*”: Geodesic.

As Figuras 8 e 9 ilustram os mapas gerados nas escalas mencionadas para os dias que contemplam os dois períodos de 2018, sendo todos os dados do período (figura à esquerda) e dias individuais (figuras à direita).



Fonte: Os autores (2020).

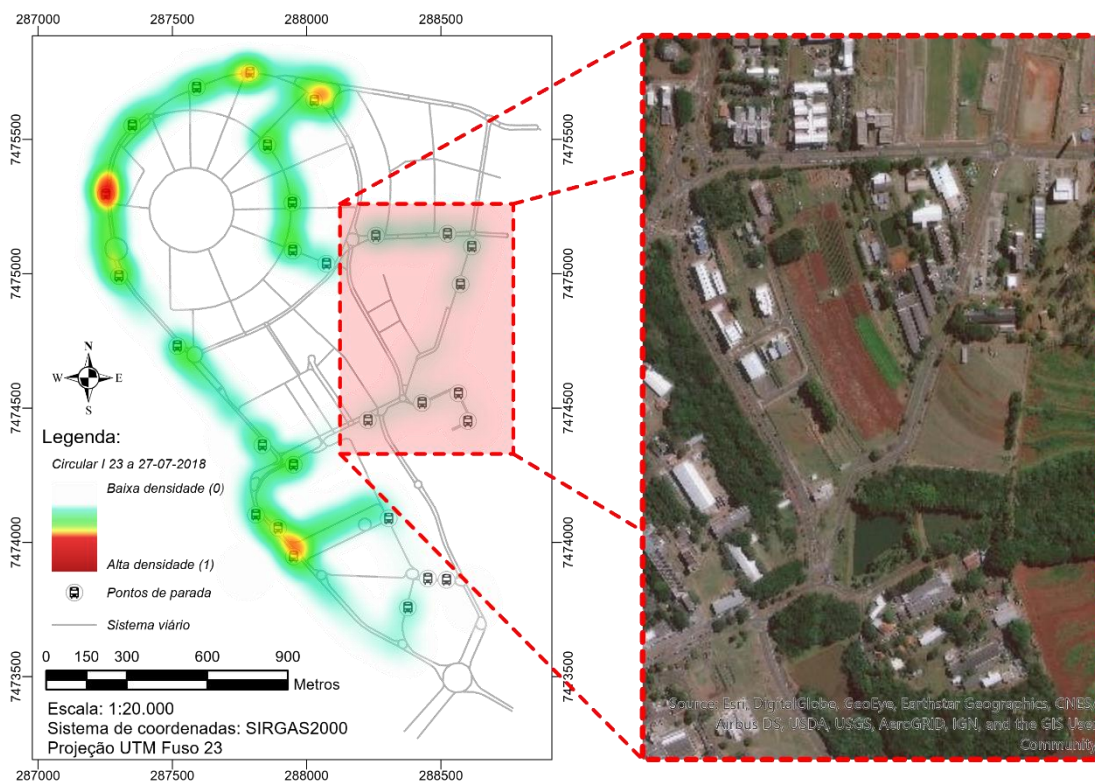
Figura 9 - Mapa de calor referente a julho de 2018.



Fonte: Os autores (2020).

Com base nestes resultados, é possível observar variações na densidade (demanda) entre período letivo (Figura 8) e não letivo (Figura 9). Tais representações mostram uma distribuição mais homogênea no mês de maio, quando comparado a julho (mapa com mais picos de alta densidade - Figura 9). A parcela de maior destaque em relação a esta variação de demanda é a região leste da área de estudo (Figura 10).

Figura 10 - Região de baixa demanda - julho de 2018.



Fonte: Os autores (2020).

Essa região contempla apenas uma unidade de ensino da Universidade (Faculdade de Engenharia Agrícola) que não possui ampla atividade de administração ou de serviço à comunidade, como por exemplo o Hospital das Clínicas. Essa região é utilizada principalmente para experimentação agrícola, possuindo apenas

um complexo com salas de aula. Considerando que a maior demanda por usuários do circular interno é feita por discentes, nota-se que no período de férias essa região é pouco utilizada pelos usuários do serviço de transporte – baixa demanda, fazendo com que o circular tenha poucas paradas nos pontos de ônibus, e consequentemente, baixa densidade nos mapas apresentados anteriormente.

Partindo dessa informação e aliado ao fato de que o sistema de transporte interno do campus possui a mesma estrutura (rotas e horários) durante todo o ano, a otimização de rotas levará em conta apenas o período de férias - época com redução de demanda.

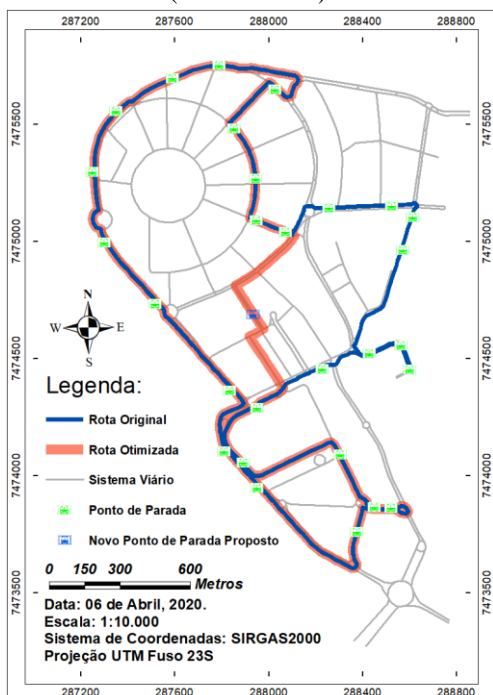
3.3 Otimização de Rotas

Os resultados dos mapas de densidade permitiram a adequação dos pontos de parada em função da sua demanda, mantendo-se apenas os pontos de parada com alta demanda, de maneira automatizada. Portanto, ao desconsiderar os pontos de parada da região leste do trajeto (baixa demanda), uma nova rota pôde ser gerada, com base no arquivo de rede da área de interesse. A roteirização foi executada no *software* ArcGIS 10.7 utilizando a extensão *Network Analyst*, considerando a função de custo baseada em distância. Para realizar esta operação, utiliza-se a ferramenta *New Route* que permite traçar uma rota ideal que percorra todos os pontos de parada considerando o menor trajeto possível, bem como determinar a melhor sequência de paradas a ser percorrida pelo veículo. Tal ferramenta exige como dados de entrada, o arquivo de rede e os pontos de parada de alta demanda, sendo estes definidos como locais obrigatórios a serem incluídos na definição da rota criada.

Desta maneira, a rota original (em azul na Figura 5) foi redimensionada para uma nova geometria representada em vermelho na Figura 11. Para este exemplo, a nova rota possui 1.430 metros a menos de comprimento que a rota original (Figura 12).

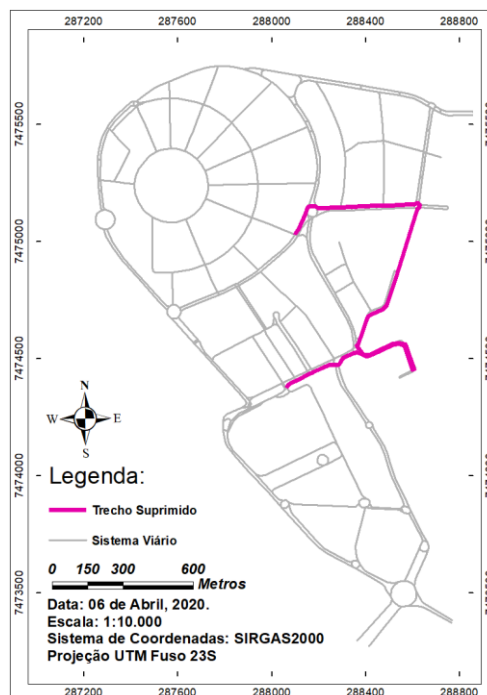
Conforme recomendado pela SEDU/PR - NTU (2002), a distância média entre pontos de parada pode variar de acordo com o tipo de área, sendo de 300 a 400 m nas áreas centrais, de 400 a 600 m nas áreas intermediárias e de 600 a 800 m nas áreas periféricas das cidades. Para Andrade et al. (2004), a distância máxima de caminhada de um passageiro não deve ser superior a 500 m. Neste trabalho, considerou-se que os pontos de parada deveriam estar dispostos a no máximo 500 metros de distância entre si, logo um novo ponto de parada foi adicionado no trajeto otimizado (em destaque na cor azul) e apresentado na Figura 11 com a rota otimizada.

Figura 11 - Rota original (em azul) e rota otimizada (em vermelho).



Fonte: Os autores (2020).

Figura 12 - Trecho reduzido da rota original.



Fonte: Os autores (2020).

Atualmente a Unicamp possui dois contratos relativos à prestação do serviço de transporte que são gerenciados pela “Unitransp” – responsável pelo gerenciamento do transporte público no campus. Estes contratos, que são renovados anualmente, contemplam os cinco veículos utilizados para percorrer as três rotas ao longo do dia, o que implica em aproximadamente 22.355 km rodados por mês com um custo mensal de aproximadamente R\$ 98.000,00. Desconsiderando detalhes de contrato, e levando em conta apenas o valor fixado por km rodado, pode-se afirmar que a Unicamp possui uma despesa de R\$ 4,39 por km com o transporte público interno. Portanto, considerando que a rota original utilizada neste experimento possui 8,59 km de extensão, e que a nova rota foi redimensionada para 7,16 km, houve uma redução por viagem de 1,43 km. Sabe-se que por dia, os dois veículos do Circular I realizam um total de 40 viagens, contabilizando uma economia de R\$ 251,10 por dia.

Para o período de férias, que é de aproximadamente 70 dias úteis, duas opções podem ser feitas para efetivar esta redução de custos: a primeira seria a utilização da nova rota pelos dois veículos e a segunda incluiria a possibilidade de intercalar a rota original com a otimizada (ou manter cada veículo em uma rota – original e otimizada). Para as situações propostas, levando em consideração apenas uma rota (dentre as 5 existentes para o serviço de transporte interno) seria gerada uma redução de custo anual na ordem de R\$ 17.577 (17,9% do valor total que é gasto atualmente) considerando a primeira opção e, se fosse utilizada a segunda opção a redução seria de R\$ 8.788 (8,96% do valor total gasto). Os autores consideram a segunda opção mais adequada, pois mesmo com baixa demanda na região leste, a área continuaria a ser atendida (apenas com frequência reduzida em 50%), não sendo necessário o deslocamento dos usuários até a nova rota (que no pior cenário seria de aproximadamente 700 m).

4 CONCLUSÕES

O método apresentado neste trabalho engloba o uso de sensores de baixo-custo para aquisição de coordenadas geográficas, comunicação entre dispositivos e banco de dados em nuvem, assim como soluções geradas a partir destas coletas, caracterizando o conceito de IoT. Além desses dispositivos de baixo-custo, o trabalho apresenta um método capaz de identificar demanda em pontos de parada de ônibus convencionais de forma automatizada, utilizando dados de posicionamento GNSS, sem a necessidade de outros sensores acoplados aos veículos ou vinculados aos passageiros e pontos de parada. Com base no estudo realizado sobre o estado-da-arte, nota-se que a metodologia utilizada não foi aplicada por outros autores. De acordo com nossas pesquisas, apenas a premissa já foi utilizada por outros autores, porém com diferentes aplicações na área de Transportes. Logo, consideramos que o método como um todo é original. Esta alternativa se apresenta viável devido ao fato de que esta abordagem atualmente é feita por agentes de trânsito, o que demanda esforço desses funcionários e alto tempo de execução da pesquisa operacional.

A partir do experimento realizado na Universidade Estadual de Campinas, verificou-se que os dados gerados pela Plataforma IoT Circulino, pode-se apresentar como alternativa para a coleta de dados úteis para a roteirização de linhas de ônibus convencionais, cujo impacto financeiro inicial seria a redução de aproximadamente 18% do custo total anual com a contratação de serviço de transporte – sendo possível uma economia anual de R\$ 17.577. Destaca-se ainda que tal redução, quando verificada em um estudo de caso para o transporte público de um município poderá acarretar reajustes de contratos, e consequentemente, redução da tarifa paga pelo usuário. Para tal, é necessária uma validação da premissa para o município em questão a fim de verificar a viabilidade, pois para o estudo apresentado, apenas uma rota foi otimizada.

A otimização de rota obtida pelo método proposto apresentou bons resultados, podendo ser replicada para os demais trajetos do sistema de transportes da Unicamp. Outra expectativa é a utilização desse método com *software* livre, necessitando apenas de um sistema de coleta de dados oriundos de posicionamento GNSS, semelhante ao da Plataforma IoT Circulino, o que reduz ainda mais o gasto pois não teria o custo associado à licença de *software*.

Destaca-se que fatores externos, como os mencionados no item 3.1, podem influenciar nos resultados obtidos, assim como, inviabilizar a reprodução de tal método caso seja identificada a não correlação positiva entre as variáveis estudadas. Porém, tais aspectos podem ser minimizados com redundância de dados.

Por fim, o resultado trouxe uma perspectiva de economia para a Unicamp – mesmo os valores

utilizados neste trabalho sendo aproximados e não considerando alguns aspectos específicos do contrato. Assim, o método pode ser aplicado para gestão de rotas municipais, cujo objetivo seja realocar rotas de ônibus ou simplesmente adequá-las, reduzindo assim, custos operacionais que serão refletidos no preço da tarifa para o usuário, além de reduzir o tempo de cada viagem, e por consequência, aumentar a qualidade do serviço. Desta maneira, um Sistema de Informação Geográfica (SIG) e IoT se mostram como ferramentas importantes no planejamento otimizado de um sistema de transporte público, podendo servir de apoio a tomada de decisões da gestão pública local.

Como sugestões para trabalhos futuros recomenda-se a filtragem de dados baseada na velocidade do veículo (obtida pelo posicionamento GNSS), assim como, o desenvolvimento de dispositivos capazes de georreferenciar volume de passageiros e uma análise mais complexa à respeito do uso e ocupação do solo nos entornos dos pontos de maior e menor demanda de usuários.

Agradecimentos

Os autores agradecem o projeto SmartCampus pela disponibilização dos dados utilizados neste trabalho, assim como ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Unicamp pela estrutura disponibilizada durante a execução deste trabalho.

Contribuição dos Autores

O primeiro autor contribuiu com o desenvolvimento original da metodologia apresentada, curadoria dos dados iniciais, experimentação computacional, análise espacial e redação do artigo. O segundo e terceiro autores contribuíram com as experimentações, análises e representações cartográficas presentes neste trabalho e redação do artigo. O quarto autor contribuiu com a redação inicial, e com a definição da metodologia proposta. O quinto e sexto autores contribuíram com o desenvolvimento da plataforma IoT-Circulino e disponibilização de dados específicos da plataforma para utilização neste artigo.

Conflitos de Interesse

Os autores declaram que há conflitos de interesse.

Referências

- ALGUERÓ, P. S. Using Smart Card Technologies to Measure Public Transport Performance: Data Capture and Analysis. **Technical Report Industrial Engineering**, 2013.
- ÁLVAREZ, P. J.; CALDERÓN, C. A. G.; CALDERÓN, G.G. Route Optimization of Urban Public Transportation. **Dyna**. Medellin, 2013. v. 80, n. 180, p. 41-49.
- ANDRADE, K. R.; PAULA, V. A.; MESQUITA, A. P.; VILLELA, P. A. **Problemas Relacionados aos Pontos de Parada do Transporte Público nas Cidades de Porte Médio**. Instituto de Engenharia de São Paulo, p. 1-7. 2004.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS(ANTP). **Relatório Geral 2016**. Sistema de Informações da Mobilidade Urbana da ANTP, 2016. Disponível em: <http://files.antp.org.br/simob/simob-2016-v6.pdf>. Acesso em: 25 de agosto de 2019.
- ARAÚJO, M. R. M.; OLIVEIRA, J. M.; JESUS, M. A.; REZENDE DE SÁ, N.; SANTOS, P. A. C.; LIMA, T. C. Transporte Público Coletivo: Discutindo Acessibilidade, Mobilidade e Qualidade de Vida. **Psicologia & Sociedade**, v. 23, p. 574–582, 2011.
- BABICKI, S.; ARNDT, D.; MARCU, A.; LIANG, Y.; GRANT, J. R.; MACIEJEWSKI, A.; WISHART, D. S. Heatmapper: Web-enabled Heat Mapping for all. **Nucleic acids research**, v. 44, n. W1, p. W147-W153, 2016. DOI. 10.1093/nar/gkw419
- BARBOSA, R. A.; SOUSA, R. P.; OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA, H. C.; LUZ, P.D.G.; MANERA, L.T.

- Circulino: An IoT Solution Applied in the University Transport Service. In: Iano Y., Arthur R., Saotome O., Vieira Estrela V., Loschi H. (eds) **Proceedings of the 4th Brazilian Technology Symposium (BTSym'18)**. BTSym 2018. Smart Innovation, Systems and Technologies, v. 140. Springer, 2019.
- BENN, H.P. Bus Route Evaluation Standards Transit. Synthesis of Transit Practice. Cooperative Research Program. **National Academy Press**, Washington, p. 63, 1995.
- BRASIL. Constituição (1988). **Constituição**: República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 29 agosto. 2019.
- CEBELAK, M.; JIN, P. J.; WALTON, C. M. Transportation Planning Through Peer-to-Peer Modeling. Transportation Research Record: **Journal of the Transportation Research Board**, v. 2564, n. 1, p.41-51, 2016. DOI. 10.3141/2564-05
- CEDER, A.; WILSON, N. H. Bus network design. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 20, n. 4, p. 331-344, 1986.
- CHANG, H.; TAI, Y.; HSU, J. Y. Public Transportation Routing Using Route Graph. In: PROCEEDINGS OF 12th CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE & APPLICATIONS (TAAI), 12., 2007. **Anais...** Taiwan, 2007. p 1-7.
- DATTA, S. **Applications of Operational Research to the Transportation Problem in Developing Countries: A Review**. Global Business Review. London, 2000, v. 1, p.113-132.
- DENG, Y. An Indicator-Based Method for Bus Routing Adjustment. In: WUHONG, G.; KLAUS, B.; XIAOBEI, J. **Green Intelligent Transportation Systems: Proceedings of the 8th International Conference on Green Intelligent Transportation Systems and Safety**. Singapura: Springer, 2018. p. 695-706.
- DESAULNIERS, G.; HICKMAN, M. D. Public transit. In: LAPORTE, G.; BARNHART, C. **Transportation, Handbooks in Operations Research and Management Science**. Holanda, Editora North Holland, 2007, v. 14. Cap. 2. p. 69–127.
- EL-TAWAB, S.; ORAM, R.; GARCIA, M.; JOHNS, C.; PARK, B. B. Data analysis of transit systems using low-cost IoT technology. IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON PERVASIVE COMPUTING AND COMMUNICATIONS WORKSHOPS (PerCom Workshops). 2017. **Anais...** St. Louis, United States, 2017. p. 497-502.
- ERFANI, S. M. H.; DANESH, S.; KARRABI, S. M.; SHAD, R. A. Novel Approach to Find and Optimize Bin Locations and Collection Routes Using a Geographic Information System. **Waste Management & Research**, v. 35, n.7, p. 776–785, 2017. DOI. 10.1177/0734242X17706753
- ESRI (Environmental Systems Research Institute), 2019a, How Point Density Works. Disponível em: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-point-density-works.htm>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2019.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute), 2019b, Network Elements. Disponível em: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/network-analyst/network-elements.htm> . Acesso em: 28 de fevereiro de 2019.
- IBGE. IBGE divulga as Estimativas de População para os municípios em 2019. **Agência IBGE Notícias**, 2019. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/25278-ibge-divulga-as-estimativas-da-populacao-dos-municipios-para-2019>. Acesso em: 28 de fevereiro de 2020.
- KALIKOVA, J.; KRCAL, J. People Counting in Smart Buildings. In: 3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT GREEN BUILDING AND SMART GRID (IGBSG), 3., 2018. **Anais...** National Ilan University, Taiwan, 2018.p. 1-3.
- HERNANDEZ, D.; CASTRILLON, M.; LORENZO, J. People Counting with Re-identification Using Depth Cameras. In: 9th INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMAGING FOR CRIME DETECTION AND PREVENTION, 9., 2010. **Anais...** London/United Kingdom, 2010. p. 1-7.
- MANASRA, H.; TOLEDO, T. Optimization-based Operations Control for Public Transportation Service with Transfers. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 105, p. 456-467, 2019. DOI.

10.1016/j.trc.2019.06.011

- MANDL, C. E. Evaluation and Optimization of Urban Public Transportation Networks. **European Journal of Operational Research**. Cambridge, v.5, n. 6, 1980, p. 396-404. DOI. 10.1016/0377-22178090126-5
- MATSUI, T.; MYRVOLL, T. A.; SEPTIER, F. Counting Public Transport Passenger Using Wi-Fi Signatures of Mobile Devices. In: IEEE 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS (ITSC). 20., 2017. **Anais...** Yokohama, Japan, 2017. p. 1-6.
- MUÑOZ, J. C.; GIESEN, R. **Optimization of Public Transportation Systems**. Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science, v. 3886, p. 3896, 2010.
- NASIR, A. S. A.; GHARIB, N. K. A.; JAAFAR, H. Automatic Passenger Counting System Using Image Processing Based on Skin Colour Detection Approach. In: 2018 INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTATIONAL APPROACH IN SMART SYSTEMS DESIGN AND APPLICATIONS (ICASSDA). 2018. **Anais...** Kuching, Malaysia, 2018. p. 1-8.
- NOLAND, R.; LEM, L. L. A Review of the Evidence for Induced Travel and Changes in Transportation and Environmental Policy in the US and the UK. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v.7, n. 1, p. 1-26, 2002. DOI. 10.1016/S1361-9209(01)00009-8
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS (NTU). **Relatório Técnico**. Transporte Público Urbano por Ônibus: Características, Investimentos, Desoneração e Benefícios/Contrapartidas. Brasília. Brasil, 2012.
- PATNAIK, J.; CHIEN, S.; BLADIKAS, A. Estimation of Bus Arrival Times Using APC Data. **Journal of Public Transportation**, v. 7, n. 1, p.1-20, 2004. DOI. 10.5038/2375-0901.7.1.1
- POLÍTICA NACIONAL DE MOBILIDADE URBANA (PNMU). Caderno de Referência para Elaboração de Plano de Mobilidade Urbana. Secretaria Nacional de Transporte e da Mobilidade Urbana - SeMob, 2012.
- QIAN, X.; YU, X.; FA, C. The Passenger Flow Counting Research of Subway Video Based on Image Processing. In: 29th CHINESE CONTROL AND DECISION CONFERENCE (CCDC), 29., 2017. **Anais...** Chongqing, 2017. p. 5195-5198.
- RATNER, B. The Correlation Coefficient: Its Values Range Between +1 / -1, or do They? **Journal of Targeting, Measurement and Analysis for Marketing**, v. 17, n. 1, 2009.
- RAKHMATULLINA A.R.; SIVAKS A.N.; PECHERSKAYA E.P. Assessment of Quality of Services of Public Transport in Digital Economy. In: KACPRZYK, J. **Lecture Notes in Networks and Systems**. Rússia: Springer, 2019, v. 84, p. 269-280.
- SECRETARIA ESPECIAL DE DESENVOLVIMENTO URBANO DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA (SEDU/PR); ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS (NTU). **Relatório Técnico – Prioridade para o Transporte Coletivo Urbano**. Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da presidência da República e Associação Nacional de Empresas de Transportes Urbanos, Brasília, DF. 66p, 2002.
- SOUZA, E. S.; BARBOSA, J. C.; MILLIAN, F. M.; TORRES, M.; AMBROSIO P. E. Tracking System for Urban Buses with People Flow Management. **IEEE Latin America Transactions**, v. 9, n. 6, p. 944-949, 2011. DOI. 10.1109/TLA.2011.6096977
- TAVARES, G.; ZSIGRAIOVA, Z.; SEMIAO, V.; CARVALHO, M.G. Optimisation of MSW Collection Routes for Minimum Fuel Consumption Using 3D GIS Modelling. **Waste Management**. v. 29, n. 3, p. 1176-1185, 2009. DOI. 10.1016/j.wasman.2008.07.01
- VIEIRA, A. B. **Roteirização de Ônibus Urbano: Escolha de um Método para as Cidades Brasileiras**. 1999. 198p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1999, 168p.
- YU, B.; LAM, W. H. K.; TAM, M. L. Bus Arrival Time Prediction at Bus Stop with Multiple Routes. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**. v. 9, n. 6, p. 1157-1170, 2011. DOI. 10.1016/j.trc.2011.01.003
- YU, C.; HE, Z. C. Analysing the Spatial-Temporal Characteristics of Bus Travel Demand Using the Heat Map. **Journal of Transport Geography**, v. 58, p. 247-255, 2017.
- WEINSTEIN, J. N. A Postgenomic Visual Icon. **Science**. v. 319, n. 5871, p. 1772-1773, 2008. DOI.

10.1126/science.1151888

WILKINSON, L.; FRIENDLY, M. The History of the Cluster Heat Map. **The American Statistician**, v. 63, n. 2, p. 179-184, 2009. DOI. 10.1198/tas.2009.0033

Biografia do autor principal



Henrique Candido de Oliveira, Campinas, 1988. Engenheiro Cartógrafo formado em 2010, pela Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT) da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus Presidente Prudente. Mestre (2013) e Doutor (2016) em Ciências Cartográficas pela FCT-UNESP com estágio de pesquisa no exterior junto ao *Digital Photogrammetry Research Group* da Universidade de Purdue / USA. Atualmente é Professor Doutor da Universidade de Campinas (Unicamp), junto à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Atua na área de Geomática, com ênfase em Fotogrametria e Sensoriamento Remoto aplicados ao Transportes.



Esta obra está licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.