



Para ser relevante.

www.fdc.org.br



Programa de Pós-graduação em Gestão de Negócios

PROJETO APLICATIVO

OTIMIZAÇÃO DO ESPAÇO-TEMPO: UM ESTUDO SOBRE A INFORMAÇÃO DINÂMICA DO TRÁFEGO DE PESSOAS NO TRANSPORTE COLETIVO

Professor Fábio Pollice

FUNDAÇÃO DOM CABRAL

PROJETO APLICATIVO

OTIMIZAÇÃO DO ESPAÇO-TEMPO: UM ESTUDO SOBRE A INFORMAÇÃO DINÂMICA DO TRÁFEGO DE PESSOAS NO TRANSPORTE COLETIVO

Componentes:

César Rossi dos Santos
Fernando Xavier de Moraes
Raissa Boiko Hercoli
Ulisses Silva Neto
Vanessa de Oliveira

**Curitiba
2022**

César Rossi dos Santos
Fernando Xavier de Moraes
Raissa Boiko Hercoli
Ulisses Silva Neto
Vanessa de Oliveira

PROJETO APLICATIVO

OTIMIZAÇÃO DO ESPAÇO-TEMPO: UM ESTUDO SOBRE A INFORMAÇÃO DINÂMICA DO TRÁFEGO DE PESSOAS NO TRANSPORTE COLETIVO

Projeto apresentado à Fundação Dom Cabral como requisito parcial para a conclusão do Programa de Especialização em Gestão de Negócios.

Orientador: Fábio Pollice
Gerente do Programa: Marina Silva e
Paula Faria

**Curitiba
2022**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela oportunidade de participarmos deste curso devido aos nossos empregos.

Às empresas nas quais atuamos e aos superiores, por nos concederem ausência para que assistíssemos às aulas e por aplaudirem a nossa evolução e nosso desenvolvimento profissional.

Aos nossos familiares pela compreensão e apoio nas horas dedicadas aos estudos e ao desenvolvimento do projeto aplicativo, que foram subtraídas da convivência familiar.

Ao nosso professor e orientador, pelos conselhos e orientações no desenvolvimento do trabalho.

Aos nossos colegas de curso, pela troca de experiências, aprendizado e relacionamento criados ao longo deste período.

À coordenação, Marina, Paula e Carla, por toda atenção e cuidado conosco.

Por fim, agradecemos — e parabenizamos — a todos os professores, à equipe da Fundação Dom Cabral, ao ITL e ao SEST SENAT pelo excelente curso!

RESUMO

Este projeto visa uma busca pela melhoria do fluxo de passageiros no transporte público, com base nas informações em tempo real, da lotação de usuários e do dimensionamento da frota operante. Ele se originou em virtude da precariedade existente no transporte público das cidades brasileiras, observada não somente pela falta de conforto, mas, também, pelos atrasos, engarrafamentos, falta de informação sobre o meio de transporte utilizado e modelos com pouca inteligência, que geram insatisfação aos usuários, que acabam por utilizar carros particulares em vez do transporte público. A preocupação com o tempo previsto para a chegada do transporte coletivo e sua lotação é uma das principais necessidades dos usuários atualmente, pois, com informações mais precisas sobre sua viagem, eles podem tomar a melhor decisão para otimizar seus respectivos tempos. Para o estudo, foram utilizadas pesquisas junto a gestores de empresas de infraestrutura para transportadores, pesquisas em literaturas, sites, bem como uma análise de campo. Como o foco do projeto é a implantação do aplicativo, foi importante falar, também, sobre a evolução tecnológica, citar os casos de sucessos e os aplicativos utilizados atualmente para o transporte de pessoas. Após a conceitualização, concluiu-se pela viabilidade técnica, operacional e estratégica da solução proposta.

Palavras-chave: Transporte público urbano; Usuários; Transporte coletivo; Tempo previsto; Lotação.

ABSTRACT

This project aims to improve the flow of passengers in public transport, based on real-time information, user capacity and the sizing of the operating fleet. It originated due to precarious public transport in Brazilian cities, observed not only by lack of comfort, but also by delays, traffic jams, lack of information about the means of transport and models with little intelligence, which generate unsatisfied users, who end up using private cars instead of public transport. Concern about the expected time for the arrival of public transport and its capacity is one of the main needs of users today, because, with more accurate information about their trip, they can make the best decision to optimize their respective journey. For this study, surveys were made with managers of infrastructure companies for transporters, research in literature, websites, as well as a field analysis. As the focus of the project is the implementation of an application, it was also important to talk about the technological evolution, mentioning the success stories and the applications currently used to transport people. After conceptualization, the technical, operational and strategic feasibility of the proposed solution was concluded as satisfactory.

Keywords: Urban public transport; Users; Public transport; Estimated time; Capacity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Nível de ocupação dos ônibus	42
Figura 2 - Informações de ocupação em placas eletrônicas	43
Figura 3 - Painel de informação ao usuário.....	51
Figura 4 - Tela de informação fornecida ao usuário	52
Figura 5 - Estrutura conceitual de um sistema AVL	60
Figura 6 - Exemplo de localização do ônibus no sistema Olho Vivo	61
Figura 7 - Tela de login da internet gratuita, oferecida pela rede de postos de combustíveis Pelanda	63
Figura 8 - Método de coleta e processamento dos dados.....	64
Figura 9 - Exemplo de operação em um smartphone	68

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Cidades selecionadas: evolução da demanda dos sistemas de ônibus urbano (abril e outubro de 1995-2019). Média de número de passageiros equivalentes transportados por veículo por dia	31
Gráfico 2 - Brasil: evolução da taxa de motorização (2001-2020). Aumento do número absoluto de veículos por habitante.....	32
Gráfico 3 - Brasil e Regiões Metropolitanas: tempo médio no deslocamento casa-trabalho (2001-2015) (em minutos)	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2G – Second Generation (Segunda Geração)
3G – Third Generation (Terceira Geração)
4G – Fourth Generation (Quarta Geração)
ANTP – Associação Nacional de Transportes Públicos
API – Application Programming Interface (Interface de Programação de Aplicação)
APP – Aplicativo de Celular Inteligente
ATIS – Advanced Traveller Information System (Sistemas de Informação ao Usuário - SIU)
AVL– Automatic Vehicle Location (Localização Automática de Veículos)
AVM – Automatic Vehicle Monitoring (Monitoramento Automático de Veículos)
BSSID – Basic Service Set Identifier (Identificador Básico do Dispositivo)
ESSIDS – Extended Service Set Identifier (Identificador de Redes Sem Fio que contêm pontos de acesso)
GPRS – General Packet Radio Services (Serviços Gerais de Serviços por Rádio)
GPS – Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)
HTTP – Hypertext Transfer Protocol (Protocolo de Transferência de Hipertexto)
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBOPE – Instituto Brasileiro de Opinião Pública e Estatística
IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
JSON – JavaScript Object Notation (Notação de Objeto baseada em JavaScript)
MAC – Media Access Control (Controle de Acesso de Mídia)
NoSQL – Not Only SQL (Não só SQL)
NTM – Network Traffic Monitoring (Monitoramento do Tráfego de Requisições e de Pacotes em Redes sem fio Wi-Fi)
NTU – Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos
ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
SIT – Sistemas Inteligentes de Transporte
SPTrans – São Paulo Transporte S/A
URBS – Urbanização de Curitiba S/A
Wi-Fi – Wireless Fidelity (Fidelidade Sem Fio)

SUMÁRIO

1	RESUMO EXECUTIVO	12
1.1	Problema de Pesquisa.....	13
1.2	Justificativa da escolha do problema a ser trabalhado	14
1.3	Objetivos.....	14
1.3.1	Objetivo geral.....	14
1.3.2	Objetivos específicos	14
1.4	Breve apresentação dos capítulos do Projeto Aplicativo	15
2	BASES CONCEITUAIS.....	16
2.1	Transporte Coletivo Competitivo.....	16
2.2	Sustentabilidade	17
2.3	Cidades Tecnológicas.....	20
2.4	Otimização Tempo e Trajeto.....	21
2.5	Cooperação do Usuário do Sistema	25
2.6	Plano de Viabilidade Econômica.....	27
3	METODOLOGIA DE PESQUISA	29
4	LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE INFORMAÇÃO	31
4.1	Análise do Setor.....	31
4.2	Benchmarking.....	35
4.2.1	Ônibus flutuante da Irlanda.....	36
4.2.2	Vigilância de tráfego de Cingapura.....	36
4.2.3	Sistema de Coleta de Dados BMS na Coreia do Sul	38
4.2.4	Principais descobertas e lacunas de pesquisa	45
4.3	Realidade da Empresa	50
4.4	Pesquisas e Levantamentos.....	52
5	DESENVOLVIMENTO.....	54
5.1	Proposta de Solução.....	55
5.1.1	Estimativa de embarque e desembarque de passageiros por detecção de sinal de wi-fi de dispositivos móveis.....	56
5.1.2	Automated Vehicle Location - AVL	58
5.1.3	Dispositivo detector Wi-Fi	62
5.1.4	Procedimento de contagem automática de embarques e desembarques	64
5.1.5	Aplicação de consulta do usuário	66

6	CONCLUSÃO.....	69
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

1 RESUMO EXECUTIVO

Nos últimos anos, a mobilidade urbana tem ganhado crescente espaço no debate público no Brasil à medida que se admite a sua urgência e importância no contexto das grandes cidades.

O crescimento desordenado de grandes cidades e regiões metropolitanas, acrescido do processo de conurbação dessas regiões, gerou um complexo problema para os gestores públicos e privados no que tange ao transporte coletivo de passageiros: como atender ao número crescente de usuários, prezando pelo transporte eficiente, pontualidade, urbanidade e com foco na experiência do usuário.

Diante da falta de planejamento em grande parte das cidades, especialmente nos países em desenvolvimento, onde os problemas relacionados ao transporte são mais acentuados, a questão do transporte coletivo de passageiros se tornou prioridade exigindo investimentos pontuais, com o foco em garantir a manutenção e a expansão do sistema de transporte, bem como a finalidade de manter os seus usuários habituais e aproximar novos usuários.

Existem diversas alternativas a serem implantadas com o objetivo de solucionar a questão do transporte. Entretanto, as opções consideradas mais efetivas, como a utilização de trens, veículos leves sobre trilhos e metrô, são demasiadamente onerosas, além de terem como característica intrínseca o grande tempo para sua implantação, uma vez que são amparadas em uma estrutura previamente existente, como a malha de trilhos — caso contrário, seu custo será majorado de forma substancial.

Nesse contexto, o transporte coletivo baseado na utilização de ônibus acaba se tornando uma alternativa mais rápida e menos custosa para implantação nas grandes cidades. Contudo, sua utilização também apresenta desvantagens competitivas, deixando de resolver o problema de mobilidade urbana de forma definitiva.

A questão do financiamento do sistema de transporte baseado na utilização de ônibus, bem como contendas relacionadas à má prestação de serviço, como atrasos habituais, lotação excessiva e sucateamento dos veículos, traz à tona questões como a perda de usuários para meios de transporte individuais — por exemplo, o uso de motocicletas e carros particulares, além dos carros de aplicativos de transporte.

Nesta senda, a implantação de tecnologia aliada aos controles de tráfego das empresas concessionárias do transporte público coletivo apresenta-se como uma ferramenta de grande valia, a fim de possibilitar a eficiência do serviço prestado, aliando pontualidade, efetividade e segurança, além de proporcionar uma melhor experiência ao usuário.

A utilização de sistemas de tecnologia de tráfego possibilita o gerenciamento das viagens com o cumprimento integral das tabelas dentro das faixas horárias programadas pelas gerenciadoras. Além disso, permitem a extração de relatórios gerenciais sobre a lotação em determinadas faixas horárias, possibilitando às empresas a flexibilização da operação com a eventual inserção de novos carros em determinados horários com maior trânsito de passageiros.

A vantagem da utilização de tecnologia aliada ao transporte não aproveita somente as empresas, mas também os passageiros, que podem ter maior clareza quanto aos horários de chegada e partida de determinado meio de transporte, podendo, assim, planejar seus afazeres de acordo com os horários previamente estabelecidos e com o acompanhamento em tempo real, gerando maior qualidade de vida ao usuário e evitando o êxodo de usuários do transporte coletivo.

1.1 Problema de Pesquisa

Este estudo propõe uma busca pela melhoria do fluxo de pessoas no transporte público de passageiros, com base na informação em tempo real de lotação de usuários e dimensionamento de frota operante.

1.2 Justificativa da escolha do problema a ser trabalhado

A queda no número de passageiros transportados no transporte coletivo demonstra a insatisfação dos usuários perante o sistema, ressaltando a necessidade de melhorar a experiência do usuário, abrangendo sua eficiência, conforto, segurança e tempo de trajeto. Dentre as melhorias, ressaltamos que a otimização do tempo do usuário é uma necessidade inegável ao sistema de transporte coletivo brasileiro.

O presente estudo visa a solução do problema de congestionamento das portas de acesso aos veículos, tanto nos ônibus como nos vagões de trens e metrô, ao proporcionar informações em tempo real, de modo a otimizar a viagem do usuário provendo dados atualizados da lotação dos carros. Dessa forma, o usuário poderá planejar de forma mais adequada sua viagem, aumentando a utilização das instalações do metrô/terminais mediante a utilização do App.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Trazer informação em tempo real para o usuário, visando a melhoria de sua experiência de transporte, e melhorar o fluxo de pessoas no transporte coletivo.

1.3.2 Objetivos específicos

Engenharia de dados: levantamento das fontes de dados (mineração), modelagem, análise, arquitetura de ingestão, escolha do modelo de tratamento, etc.

Implementação de estrutura física para a melhoria dos acessos (separação de ônibus e vagões para pessoas com limitações de mobilidade; organização de entrada/saída por avisos sonoros e visuais);

Integração entre os modais: informação em tempo real, considerando diferentes alternativas de trajeto de acordo com a prioridade do usuário (como tempo

ou lotação) e também eventuais rupturas no sistema (interrupções de linhas, quebras, etc.)

Criação de uma solução para compartilhar dados do transporte urbano de forma dinâmica e acessível ao usuário.

1.4 Breve apresentação dos capítulos do Projeto Aplicativo

No primeiro capítulo, há a apresentação geral do trabalho, incluindo o problema de pesquisa, a justificativa pela sua escolha e os objetivos, geral e específicos, do estudo.

Na segunda sessão, Bases Conceituais, demonstra-se a pesquisa no que tange à mobilidade urbana no país e a experiência do usuário. Em seguida, apresenta-se a metodologia de pesquisa.

No quarto capítulo, Levantamento e Análise de Informação, há uma breve apresentação de mudanças no perfil da mobilidade urbana ao longo dos anos e a importância social e ambiental do transporte coletivo. Na sequência, na sessão de *Benchmarking*, discorre-se sobre algumas das soluções encontradas em outros países, como na Irlanda, em Singapura e na Coreia do Sul. Já no item 4.3, Realidade da Empresa, apresenta-se as soluções (ainda que parciais) no mercado brasileiro, ilustradas pelo Metrô de São Paulo.

Dando sequência ao que está disponível no país, a sessão subsequente, item 4.4, Pesquisas e Levantamentos, trata sobre uma conversa com um profissional da área, que nos indica algumas reflexões e desafios do setor.

No quinto capítulo, Desenvolvimento, apresenta-se detalhadamente a proposta para o problema estudado. Por fim, no sexto capítulo, apresentamos a conclusão do presente estudo.

2 BASES CONCEITUAIS

Este capítulo servirá para demonstração dos conceitos e materiais pesquisados e utilizados no desenvolvimento do trabalho referente a temas que tratam de mobilidade urbana, aliada com a utilização da tecnologia, a fim de tornar a experiência do usuário do sistema público de transporte mais agradável e otimizada e, ainda, com o fito de reverter a queda dos usuários do sistema de transporte.

2.1 Transporte Coletivo Competitivo

Diante da evolução social e do crescimento dos grandes centros urbanos, tornou-se necessária a estimulação de políticas públicas pretendendo proporcionar a prestação do serviço de transporte coletivo com o mínimo de conforto aos usuários do sistema. Contudo, novos modais de transporte foram sendo criados e aperfeiçoados, de modo que mostrou-se necessária a otimização do sistema de transporte coletivo para manutenção da competitividade em face da criação de outras modalidades de oferta de serviços de transporte de passageiros.

Segundo Carvalho (2016, p. 8), são necessárias ações efetivas por parte do poder público, a fim de considerar as alterações sociais e adequar a prestação de serviços com a atual expectativa da demanda:

É obrigação dos dirigentes públicos buscarem um sistema de mobilidade mais igualitário do ponto de vista social, com sustentação financeira e ao mesmo tempo sem excluir os mais pobres, além de gerar o mínimo de externalidades negativas possíveis. Para seguir esse caminho, vários desafios têm de ser superados pelos gestores da mobilidade, como: a falta de compatibilização das políticas de desenvolvimento urbano e metropolitano com o planejamento dos sistemas de mobilidade; a falta de políticas perenes de financiamento e investimento na infraestrutura de transporte público urbano; a ausência de medidas de racionalização do uso do transporte motorizado individual e compensação pelas suas externalidades negativas; o envelhecimento da população e o seu rebatimento sobre as condições de mobilidade das pessoas e os custos do transporte público (TP); a alteração do modelo de financiamento regressivo da operação TP vigente no Brasil; entre outros.

Ainda, em complemento ao raciocínio acerca da adaptação dos serviços de transporte coletivo aos reais anseios dos usuários, Carvalho (2016, p. 11) prossegue:

As periferias dos aglomerados urbanos brasileiros já estão estabelecidas, e há a necessidade de atendimento dentro de padrões aceitáveis de qualidade dos deslocamentos dessa população, principalmente no caso dos deslocamentos casa-trabalho. Deslocamentos distantes, com baixo nível de conforto em função da acomodação em pé dos passageiros e alto nível de fragmentação dos destinos, requerem que as viagens ocorram no menor tempo possível e haja a oferta de múltiplos destinos pelo sistema público. Tudo a um preço compatível com o nível baixo de renda da população. Para isso, os corredores de transporte rodoviários têm que apresentar pistas exclusivas para o transporte coletivo, reduzindo o seu tempo de viagem, com áreas de transbordo adequadas e que permitam ultrapassagem entre os veículos nestes pontos. Além disso, o sistema tem de operar dentro do conceito de uma rede integrada para que todos possam ter condições de acesso a qualquer ponto da cidade.

Com o objetivo de minoração do tempo gasto pelo passageiro e de otimização da experiência do usuário, fez-se necessária a adoção e o aperfeiçoamento de tecnologias já existentes; contudo, ainda sem a devida interligação com os sistemas de controles de tráfego dos grandes centros urbanos, de modo a otimizar o serviço prestado e a manter a competitividade do serviço ofertado.

2.2 Sustentabilidade

Conforme se observa atualmente, a consciência ambiental se tornou uma das principais preocupações da sociedade moderna, tornando-se pauta de várias discussões e conferências no mundo. Por consequência, o conceito de sustentabilidade foi se desenvolvendo, até ser consolidado, colaborando para a melhor compreensão do tema.

A sociedade segue um constante processo de transformações em diversos aspectos, tanto no que se refere a mudanças sociais, como comportamentais, econômicas e até mesmo questões de lideranças na geopolítica, sendo que todas essas transformações geram impactos profundos e diretos no cotidiano dos indivíduos em virtude de não terem sido objeto de prévio planejamento.

No que se refere à sustentabilidade, sabe-se que o desenvolvimento acelerado que a população vive, facilmente evidenciado no processo de degradação da natureza, acaba por impactar de maneira destrutiva para toda a sociedade, ou seja, a sustentabilidade não é apenas preservar os recursos naturais, é responsabilizar e democratizar os recursos, pois é um bem coletivo.

Nesse enfoque, em 2015 os Estados-Membros das Nações Unidas aprovaram medidas como forma de apelo para a erradicação da pobreza, proteger o planeta e garantir a paz e a prosperidade. Essas medidas são conhecidas como Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS (PNDU, 2022).

No Brasil, São Paulo se tornou a primeira cidade a se comprometer em implantar estratégias do ODS, firmando um compromisso junto à Fundação Ellen Macarthur, em que assinou o termo de Compromisso Global da Nova Economia de Plásticos. Dessa maneira, a cidade, por intermédio de leis, reduzirá gradualmente o uso de embalagens plásticas (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2021)

O prefeito Bruno Covas ressaltou a importância do passo dado à época do compromisso:

É uma honra para o povo paulista e para a nossa administração, que tem investido e continuará apostando em programas de desenvolvimento sustentável que também visam criar oportunidades de emprego e renda, para que São Paulo se torne a primeira cidade do mundo a ingressar na rede internacional de economia circular criada pela Fundação Ellen MacArthur. (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2021, tradução nossa)

Portanto, ações sustentáveis precisam ser tomadas por todos para que continuem evoluindo. Sabe-se, inclusive, que essa tomada de decisão não é de responsabilidade exclusiva de empresas e de órgãos públicos.

Aos poucos o termo sustentabilidade deixou de ser um conceito utópico e abstrato. Atualmente passou a ser uma necessidade e foco de empresas e pessoas comprometidas com o futuro, pois passou a ser uma questão de responsabilidade social.

Por outro lado, não é deixar o desenvolvimento se estagnar e ser paralisado, mas conciliar as boas práticas em questões ambientais com o contínuo crescimento, é pensar em um desenvolvimento sustentável.

Por tempos, questões ambientais foram deixadas de lado por grandes empresas. Almeida (2002, p. 25) pontua que:

No universo empresarial, a dimensão ambiental era vista, na melhor das hipóteses, como um mal necessário. No máximo, submetiam-se aos controles estabelecidos pelo poder público. Com frequência comandados por pessoas sem poder real na estrutura da organização, sistemas de controle da poluição raramente desfrutavam das mesmas atenções dispensadas aos sistemas de produção e de comercialização. Estações de tratamento de despejos industriais eram desligadas nos fins de semana, para economizar energia. Insumos indispensáveis a seu funcionamento deixavam de ser comprados, “por esquecimento”. As empresas mais pressionadas pela opinião pública buscavam tomar “banhos de verde”, recorrendo às pressas à ajuda de especialistas em marketing, na tentativa de mudar a imagem comprometida por décadas, às vezes séculos, de descaso ambiental. Faltava às empresas formular seu papel no mundo da sustentabilidade.

Todo e qualquer projeto focado na mobilidade, deve ter a sustentabilidade como pilar, tendo em vista as grandes consequências que esse setor impacta. Dessa maneira, é necessária a combinação de comando-e-controle, das regulações governamentais; da autorregulação, que se define como as iniciativas adotadas pelas companhias ou setores, a fim de que possam regular a si próprios; e dos instrumentos econômicos, em que pode existir ou não a intervenção do governo no mercado, utilizando-se de mecanismos como impostos sobre poluição, licenças de poluição negociáveis e outros. (ALMEIDA, 2002, p. 26).

Segundo Leite (2012), as cidades precisam realizar um desestímulo ao uso dos automóveis, para se tornarem mais sustentáveis. Partindo dessa premissa, é necessário que sejam realizadas melhorias em outras formas de transportes.

A Comissão Especial de Mobilidade Urbana destaca que se deve mudar o foco da prioridade do transporte individual para o pedestre, para o ciclista e usuários do transporte coletivo, sendo que o incentivo à caminhada, à bicicleta e ao uso do transporte coletivo, também irá resultar em uma melhora na qualidade de vida e saúde pública. (ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO RS, 2013).

A necessidade de aumento na utilização do transporte coletivo já foi identificada. Tem-se em vista a necessidade de diminuir a quantidade de poluição liberada no meio ambiente, uma vez que os transportes coletivos conseguem emitir uma quantidade menor de poluentes, ao tempo que também ocupam menos espaço nas ruas, trazendo menos impacto negativo às cidades ao considerar a quantidade de

passageiro transportados e o número de automóveis deixados de ser utilizados. (LOURENÇO, 2013).

Assim, focando no desenvolvimento da sociedade e respeitando o crescimento econômico e científico das empresas, pode-se afirmar que o respeito e a adoção de práticas sustentáveis no dia a dia do transporte coletivo só irão somar ao crescimento do setor, tendo em vista a longevidade do setor após a adoção de tais medidas.

2.3 Cidades Tecnológicas

As pessoas têm se concentrado cada vez mais nas grandes cidades, sendo que, segundo projeções, em duas décadas mais de 80% da população urbana estará concentrada em grandes cidades de países desenvolvidos. E isso se justificaria pela busca cada vez maior pela tecnologia — os avanços tecnológicos acabam sendo um grande atrativo, tanto para empresas como para a população de forma direta ou indireta. (LEITE, 2012).

O avanço da tecnologia tem sido constante e diário. Portanto, seria um equívoco deixar de utilizar os novos recursos surgidos, para a melhoria de cidades, buscando resolver os problemas do dia a dia.

Para Leite (2012), as futuras cidades sustentáveis deverão incorporar uma gestão mais inteligente de seus territórios e precisarão mitigar as ineficiências das velhas, entendendo que a inteligência atuará primeiramente atendendo aos problemas humanos e, posteriormente, aos recursos tecnológicos.

Além do mais, sabe-se que cabe à cidade cumprir a função social e fundamental, garantindo habitação e outros direitos sociais, bem como demais necessidades humanas básicas de subsistência e de existência.

A Carta Magna Brasileira, estatui e assegura o direito ao meio ambiente que deve ser ecologicamente equilibrado, “impondo-se ao Poder Público e à coletividade

o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (BRASIL, 1988).

As cidades tecnológicas ou inteligentes são consideradas um acontecimento recente, podendo se afirmar que elas surgem do investimento em infraestrutura, tecnologia de comunicação e informação, tendo como paralelo o crescimento sustentável e a qualidade de vida, que deve estar aliada à gestão eficiente através de uma governança participativa, tendo em vista grandes desafios que são encontrados no tocante à mobilidade urbana nos grandes centros.

Pode-se concluir, portanto, que as cidades tecnológicas são aquelas que se utilizam do emprego da tecnologia como elemento fundamental para o seu desenvolvimento econômico e humano, sempre buscando soluções criativas e inovadoras, mantendo o foco na qualidade de vida da sua população e a sustentabilidade do crescimento no longo prazo.

2.4 Otimização Tempo e Trajeto

O crescimento populacional nas regiões urbanas é um agravante quando se fala em questões de mobilidade urbana. Sabe-se que, rotineiramente, mais pessoas no mundo procuram as áreas urbanas para se estabelecer.

No Brasil, esse fenômeno pode ser observado de maneira mais intensa. Segundo Censo, realizado pelo IBGE em 2010, em 2000 a população urbana do país contabilizava 81,2% da população total; em 2010 esse número aumentou para 84,3%, o que representa um aumento de 23 milhões de pessoas vivendo em áreas urbanas em apenas 10 anos (NOBRE, 2015).

Há tempos, observa-se que o tema mobilidade urbana se relaciona diretamente com as soluções para se conseguir otimizar o tempo e o trajeto dos deslocamentos nos grandes centros. Contudo, vale destacar que existem enormes desafios para essa pauta, como, por exemplo, o uso do automóvel como principal meio de locomoção,

uso indevido de espaço público, custos associados ao transporte público, índices de acidentes, dentre outros.

Pode-se afirmar que o debate sobre a otimização do tempo e trajeto diz respeito ao direito que a pessoa tem de se deslocar para ter acesso, por exemplo, ao comércio, ao lazer, e a garantia de utilização dos serviços públicos. Ao mesmo tempo que se deve pensar na solução dos obstáculos existentes que dificultam o acesso da população a este ou a qualquer outro serviço.

São obstáculos impostos à utilização dos serviços essenciais urbanos e ao exercício da plena cidadania:

- A indisponibilidade, precariedade, má qualidade e o alto custo do transporte público coletivo;
- A quase obrigatoriedade de se possuir um automóvel para poder se deslocar em menos tempo, com mais flexibilidade, regularidade e conforto no território urbano;
- A ampliação da extensão dos congestionamentos viários, e;
- A quase inexistência de condições para a realização dos deslocamentos seguros por meio dos modos não motorizados - pedestres e bicicletas. (SOUSA, 2013, p. 4)

Outro grande empecilho que se vislumbra, é a maneira de como estimular o uso do transporte coletivo de forma massiva, tendo em vista que a cultura pelo transporte individual impera na sociedade brasileira. Conforme Sousa (2013, p. 4-5) bem pontua:

A opção preferencial das políticas públicas em favor dos automóveis tornou o veículo individual o meio mais confortável, barato e rápido de se deslocar nos centros urbanos, GITEC – ITDP Brasil Projeto Eficiência Energética Na Mobilidade Urbana enquanto o transporte público coletivo, relegado ao segundo plano tanto nos investimentos do Estado como na utilização do espaço viário, foi perdendo qualidade e eficiência, tornando-se cada vez mais um serviço caro e de pouca atratividade, que é utilizado apenas pelos cidadãos dos extratos sociais mais baixos, usuários cativos do serviço público de coletivos enquanto não tem acesso à posse do automóvel ou motocicleta.

Além do fato de se ter políticas públicas que incentivam o uso do automóvel como principal meio de transporte, a má qualidade do serviço público de transporte estimula ainda mais a opção pelo meio de transporte individual.

Os impactos ambientais causados pelo uso inadequado de meios de transportes poluentes, devido ao estímulo que cada indivíduo tem em utilizar seu

automóvel, é difícil de se mensurar. Em contrapartida, sabe-se que o uso de um ônibus do transporte coletivo de passageiros resulta em até 22 vezes menos espaço ocupado por automóveis, o que corresponde por volta de 40 carros (BAZANI, 2016).

Segundo dados, o principal modal de transporte público nas cidades brasileiras são os ônibus:

Desde que substituiu o bonde, o ônibus domina solitário como o principal modo de transporte público coletivo das cidades brasileiras. A utilização dos modos ferroviários, metrô, trem e VLT, são restritos a algumas poucas grandes cidades, e mesmo nestas, o papel dos ônibus é predominante devido à pequena extensão das redes sobre trilhos implantadas. Produto da indústria rodoviária, assim como o automóvel, o ônibus tem como inigualável vantagem o fato de poder compartilhar o sistema viário de uso comum e, portanto, abranger grande extensão do território das cidades sem necessidade de investimento em infraestrutura, podendo usufruir junto com os automóveis os vultosos investimentos viários que foram realizados nas cidades no século passado, em contraponto com os modos ferroviários que exigem grandes inversões para construção de infraestrutura específica para viabilizar sua operação. (SOUSA, 2013, p. 9)

Diante dessa constatação, pode-se afirmar que o ônibus é o principal modal do transporte coletivo, devido à sua flexibilidade e à sua capacidade adaptativa às diferentes condições das cidades brasileiras.

Contudo, ao se realizar uma análise mais ampla, se constata também que essa mesma flexibilidade adaptativa do ônibus o torna umas das principais causas de desorganização, uma vez que com o aumento crescente de carros e outros meios nas ruas, os veículos grandes, como os ônibus, acabam por ter sua movimentação ainda mais limitada.

O fato de poderem compartilhar o sistema viário de uso comum das cidades atribui ao ônibus sua principal e inigualável qualidade – a extensão da área de cobertura atendida pela sua rede de serviços, que em sua maioria cobrem praticamente todo território urbanizado das cidades, o que implica em alta disponibilidade territorial do serviço. Entretanto, esta flexibilidade de rotas é também uma das principais causas da desorganização estrutural e sistêmica dos serviços de ônibus, o que limita o seu desempenho afetando os demais atributos que são fundamentais para a conquistar a confiança do usuário e credenciar um bom serviço de transporte: a pontualidade, a regularidade, previsibilidade do tempo de viagem, rapidez e a disponibilidade temporal (frequência) dos serviços nos diversos períodos do dia e da semana. (SOUSA, 2013, p. 9)

Como Sousa (2013) bem pontua, a desorganização estrutural do sistema de transporte gera na população enorme desconfiança com o serviço, pois o impacto negativo será visto na pontualidade do carro, em sua regularidade de viagens, rapidez de trajeto e superlotação.

Portanto, para se ter um transporte coletivo novamente atraente a ponto de trazer novos usuários ao sistema e reconquistar aqueles que se decepcionaram com o serviço prestado, precisa-se da otimização do tempo e do trajeto, além de um bom sistema.

Nesse contexto, entende-se um efetivo e atrativo sistema de transporte público coletivo de ônibus como uma estrutura organizacional que disponha de confiança e de imagem de qualidade suficiente para figurar na mente de todos os cidadãos, inclusive aqueles de classe social mais alta, como alternativa real aos modos individuais. Para conquistar esta qualificação é necessário dispor ao cidadão, por meio de serviço de transporte público coletivo, acessibilidade indiscriminada, homogênea e flexível ao território urbanizado da cidade com um nível mínimo razoável de frequência (disponibilidade temporal), regularidade e pontualidade a qualquer hora do dia e da semana, aos moldes do atendimento oferecido pelas redes metroferroviárias do mundo inteiro. (SOUSA, 2013, p. 10)

Percebe-se que um dos principais chamarizes no sistema de transportes seria a pontualidade e o conforto nos equipamentos. Logo para se conseguir tais condições são necessários investimentos nos mais diversos modais de transporte.

Sabe-se, ainda, que várias cidades dificilmente conseguiriam fazer uma integração de modais, como rodoviário e ferroviário. Nesse caso, por exemplo, em relação à integração de ônibus e metrô, o ideal é a criação de faixas exclusivas, a reestruturação de linhas e a integração de pontos, que poderão favorecer a diminuição de carros. É preciso um estudo particular de cada situação, de forma a favorecer a eficiência do sistema.

Pode-se concluir que a integração de diferentes modais de transporte, como consequência, irá oferecer uma maior regularidade, pontualidade e organização — que é um dos principais pontos atrativos e alavancadores do transporte —, otimizando de maneira significativa a dicotomia trajeto e tempo.

2.5 Cooperação do Usuário do Sistema

Segundo dados mais recentes, após levantamento da Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos – NTU, o número de usuários do sistema de transporte coletivo vem caindo de maneira significativa, tendo diversos fatores como causa, uma vez que cada cidade possui uma peculiaridade própria e diferente de outras (PELEGI, 2021).

Frente a essa realidade, fica ainda mais evidente que é necessário a busca pela modernização e pela melhoria contínua da qualidade do serviço, precavendo-se de um iminente colapso do sistema. Como já demonstrado, o transporte coletivo é em sua maior parte realizado por ônibus no país, não podendo ficar estagnado nesse modelo que já deu certo; o momento exige criatividade, melhor gestão, novas formas de financiamento, tecnologias menos poluentes, entre outras transformações (SOUSA, 2013).

A cooperação do usuário do sistema de transporte coletivo deve ser entendida como fundamental, tendo em vista que essa participação não precisa ser necessariamente funcional, mas sim colaborativa.

As atividades relativas à comunicação com os usuários e a população em geral são fundamentais para a gestão do sistema de transporte público coletivo e para garantir alguns dos direitos dos usuários (EBERT *et al*, 2020, p. 154)

Portanto, o que se confirma é a necessidade imediata de um diálogo para a resolução dos problemas existentes no transporte coletivo, como a perda constante de usuários, a competitividade com novas tecnologias de transporte e a ineficiência do sistema.

Dessa maneira, sabe-se que o principal meio de ter a cooperação ativa do usuário na busca da melhoria do transporte é escutando os anseios destes por meio de pesquisa de satisfação para se conseguir prestar um atendimento eficaz e transparente.

Do ponto de vista da gestão, a pesquisa de satisfação e o atendimento aos usuários permitem que eles participem do planejamento e fiscalização dos

serviços fornecendo informações importantes para a melhoria da qualidade do sistema. Além disso, a disponibilização de informações garante o direito dos usuários de serem informados sobre os serviços e torna o transporte público coletivo mais atrativo. (EBERT, 2020, p. 154)

No que concerne à satisfação dos usuários com os serviços prestados, entende-se que estes, desde o princípio, esperam encontrar um serviço entregue com alta qualidade, o que em inúmeras vezes não acontece.

No conceito de ciclo da qualidade do serviço de transporte coletivo, [...] a medida de satisfação é dada pela relação entre a qualidade esperada e a percebida pelos clientes. Acompanhar a satisfação é fundamental para a gestão da qualidade do transporte público. (EBERT, 2020, p. 155)

Diante dessa constatação, verifica-se que a pesquisa de satisfação é o principal meio de cooperação possível de se encontrar e de se realizar entre o usuário, empresas e gestão do sistema de transporte.

Com a elaboração e boa aplicação da pesquisa de satisfação é possível capturar os níveis de contentamento do usuário com o sistema; e é, ainda, com os números dessa pesquisa que se enxerga os pontos com a necessidade de melhoria do serviço (EBERT, 2020, p. 155).

O atendimento ao usuário é outro método de se ter a cooperação da população atendida pelo serviço:

O sistema de atendimento aos usuários é formado pelo conjunto de meios de comunicação e serviços disponibilizados para que os usuários possam participar da fiscalização dos serviços (através de reclamações), fazer sugestões para o planejamento do transporte público e esclarecer dúvidas (EBERT, 2020, p. 158).

Com a implantação desse mecanismo é possível que a gestão do sistema de transporte coletivo consiga um "feedback" de como o sistema está se comportando, tendo em vista a coleta de sugestões e as reclamações dos usuários.

Por fim, a disponibilização de informações aos usuários é a maneira que se tem para conseguir, além da participação destes com o sistema, o incentivo para utilizarem-no ainda mais.

A disponibilidade de informações quanto ao itinerário, ao horário, à localização em tempo real do veículo e à chegada estimada são informações que só somarão ao sistema se forem passadas de forma precisa e verdadeira.

Disponibilizar informações sobre a operação aos usuários pode ser uma forma de atrair mais usuários para o transporte público coletivo e, conseqüentemente, reduzir o uso de automóveis e obter ganhos em eficiência energética na mobilidade urbana (EBERT, 2020, p. 160).

Pode-se concluir, portanto, que a cooperação dos usuários do sistema de transporte coletivo, com o foco voltado para a melhoria contínua do sistema, é melhor realizada quando se observa os três pontos elencados acima: a pesquisa de satisfação, o atendimento e os informativos.

2.6 Plano de Viabilidade Econômica

Segundo Bruni *et al.* (1998), para se realizar uma análise do investimento de qualquer tipo de projeto é necessário buscar parâmetros, como a Taxa Interna de Retorno, o Valor presente Líquido e o *Payback* (Tempo de Recuperação do Capital Investido).

Portanto, o plano de viabilidade econômica tem seu início na coleta de dados, buscando visualizar os resultados a curto, médio e longo prazo. Sendo que rotineiramente é necessário que se avalie o projeto e suas peculiaridades, de modo que se façam as necessárias adaptações.

O planejamento da viabilidade econômica difere-se de um plano de viabilidade financeira, pois deve levar em consideração “o dinheiro no tempo e o custo de oportunidade do projeto” (OLIVEIRA; SOUZA, 2019, p. 21).

Para a viabilidade econômica do projeto, discute-se que o financiamento poderia ocorrer através da melhor utilização do sistema, fazendo o uso de espaços públicos em pontos de ônibus, estações de embarque e desembarque, terminais rodoviários e ferroviários, utilização do próprio ônibus ou composição férrea.

Sabe-se que para a utilização de tais espaços é necessária a autorização da gestora do sistema, por se tratar de um espaço público. Assim, a permissão de uso para propaganda e marketing poderia ser direcionada para uso pelas próprias concessionárias do serviço de transporte público, bem como para as empresas que prestam serviço no interior dos terminais, de forma a subsidiar novos serviços destinados aos passageiros. Além disso, a exploração de publicidade nesses espaços, além de democratizar a sua utilização, daria, ainda, maior visibilidade aos serviços prestados dentro e próximos a esses grandes pontos de concentração de pessoas, que são os terminais.

Percebe-se que essa oportunidade, além de ser útil aos gestores do sistema e aplicativo, pois destina um espaço, por vezes, sem uso, a se tornar uma fonte de captação de recursos, atrai, também, empresas interessadas em anunciar seus serviços, sua marca e sua mensagem, de maneira mais dinâmica e direta a um grande público.

Focando nessa potencial fonte de arrecadação e financiamento, dependendo da situação concreta, recentemente o Município de Curitiba, juntamente com a Urbanização de Curitiba S.A., através da Resolução DIR/001/2017, estabeleceram normas para a exploração de publicidade em dos principais pontos de movimento da cidade: a Rodoviária de Curitiba (URBS, 2017).

Pode-se concluir, portanto, que a maneira de se conseguir montar a viabilidade econômica do projeto, primordialmente, seria com a exploração de publicidade no espaço público, destinado ao próprio sistema de transporte público.

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

Neste estudo, realizou-se a pesquisa do tipo exploratória, com a finalidade de desenvolver a formulação de resposta em nível mais abrangente e geral para a pergunta problema objeto de desenvolvimento do projeto aplicativo: Como melhorar o fluxo de passageiros no transporte público coletivo com base na informação em tempo real de lotação de passageiros e dimensionamento de frota operante?

Para a estratégia de pesquisa, utilizou-se a abordagem qualitativa, visando, como resultado, a compreensão do fenômeno estudado. Para tal, foram observadas suas possíveis causas e efeitos, além das relações de conexão entre os distintos aspectos analisados. Portanto, não há prejuízo quanto à medida quantitativa de critérios relacionados.

Como método de pesquisa, aplicou-se a bibliografia documental e pesquisa de campo com o levantamento e seleção do conteúdo de documentos internos, apresentações e procedimentos referentes ao tema.

Segundo Gil (2010), a pesquisa bibliográfica é elaborada com a finalidade de fornecer fundamentação teórica ao trabalho, bem como a identificação da etapa atual de conhecimento sobre o tema.

A pesquisa documental fundamenta-se no levantamento dos dados e das informações dos registros, dos relatórios administrativos e técnico-operacionais, bem como de website. Dessa forma, os dados foram estruturados e avaliados conforme os objetivos do projeto, possibilitando um melhor entendimento e elucidação do tema.

A pesquisa de campo pode ser definida como o estudo que busca as variáveis ou fatos no local, analisando como e quando ocorrem, possibilitando apreender a realidade, considerando as características do fenômeno pesquisado. Por ser realizada onde o evento se origina, ela tem algumas etapas, conforme Marconi e Lakatos (2006, p. 64) explicam:

As fases da pesquisa de campo requerem, em primeiro lugar, a realização de uma pesquisa bibliográfica sobre o tema em questão. Ela servirá, como primeiro passo, para se saber em que estado se encontra atualmente o problema, que trabalhos já foram realizados a respeito e quais são as opiniões reinantes sobre o assunto. Como segundo passo, permitirá que se estabeleça um modelo teórico inicial de referência, da mesma forma que auxiliará na determinação das variáveis e elaboração do plano geral da pesquisa. Em segundo lugar, de acordo com a natureza da pesquisa, deve-se determinar as técnicas que serão empregadas na coleta de dados e na determinação da amostra, que deverá ser representativa e suficiente para apoiar as conclusões. Por último, antes que se realize a coleta de dados é preciso estabelecer tanto as técnicas de registro desses dados como as técnicas que serão utilizadas em sua análise posterior.

Foi realizada a pesquisa de campo, com o objetivo de compreender os diversos aspectos da sociedade, gerando informações e conhecimento sobre o problema proposto, descobrindo novas ocorrências e suas conexões.

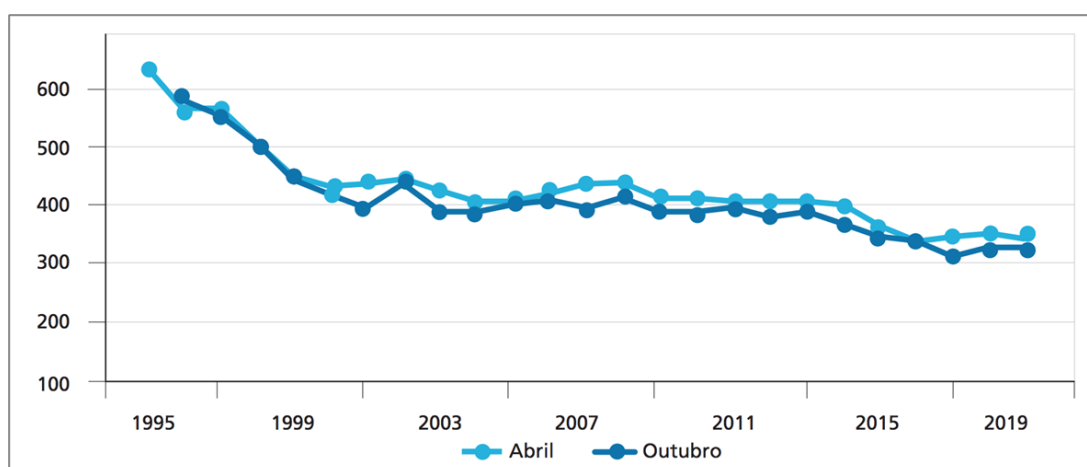
4 LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE INFORMAÇÃO

4.1 Análise do Setor

Neste capítulo, apresenta-se um breve histórico do setor do transporte coletivo urbano, bem como uma análise sobre sua relevância frente à economia nacional. Em seguida, discute-se sobre sua importância social e ambiental, destacando seu papel essencial à sustentabilidade e aos atuais desafios da categoria.

De acordo com Pereira, Warwar, Parga, Bazzo, Braga, Herszenhut e Saraiva (2021), por intermédio do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2021), a quantidade diária de passageiros transportados por ônibus nas grandes cidades do Brasil em 2018 representava apenas 60% da quantidade registrada em meados da década de 1990 (Figura 1). Tal dado demonstra um processo relacionado à alteração do padrão de consumo de bens e serviços de mobilidade nas últimas décadas, representado pelo aumento da frota de veículos individuais em 331% entre 2001 e 2020 e, assim, fragilizando o sistema de transporte coletivo (Figura 2), ou seja, pode-se notar a migração do passageiro do transporte coletivo urbano para o modal de transporte individual.

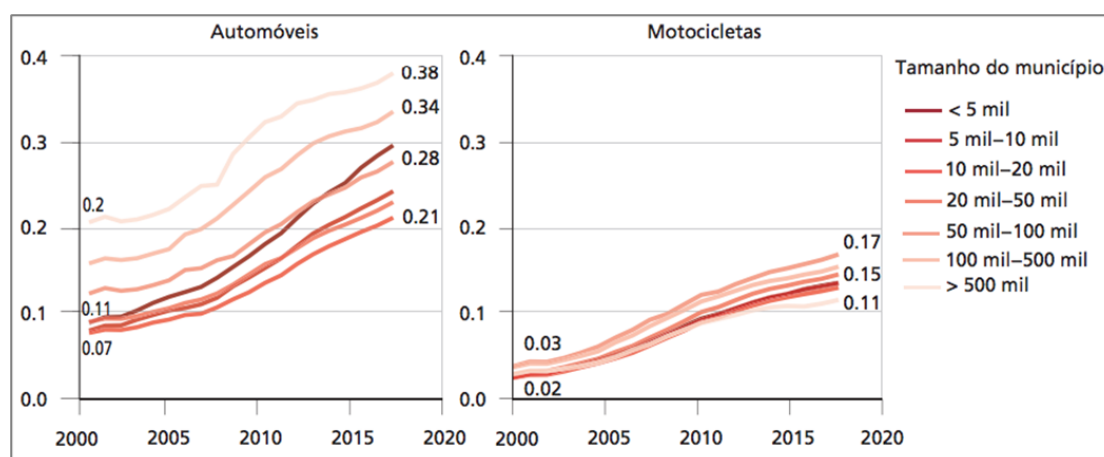
Gráfico 1 - Cidades selecionadas¹: evolução da demanda dos sistemas de ônibus urbano (abril e outubro de 1995-2019). Média de número de passageiros equivalentes transportados por veículo por dia



Fonte: NTU (2020a) apud IPEA (2021, p. 23)

¹ As cidades selecionadas são: Belo Horizonte, Curitiba, Fortaleza, Goiânia, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro, Salvador e São Paulo

Gráfico 2 - Brasil: evolução da taxa de motorização (2001-2020). Aumento do número absoluto de veículos por habitante

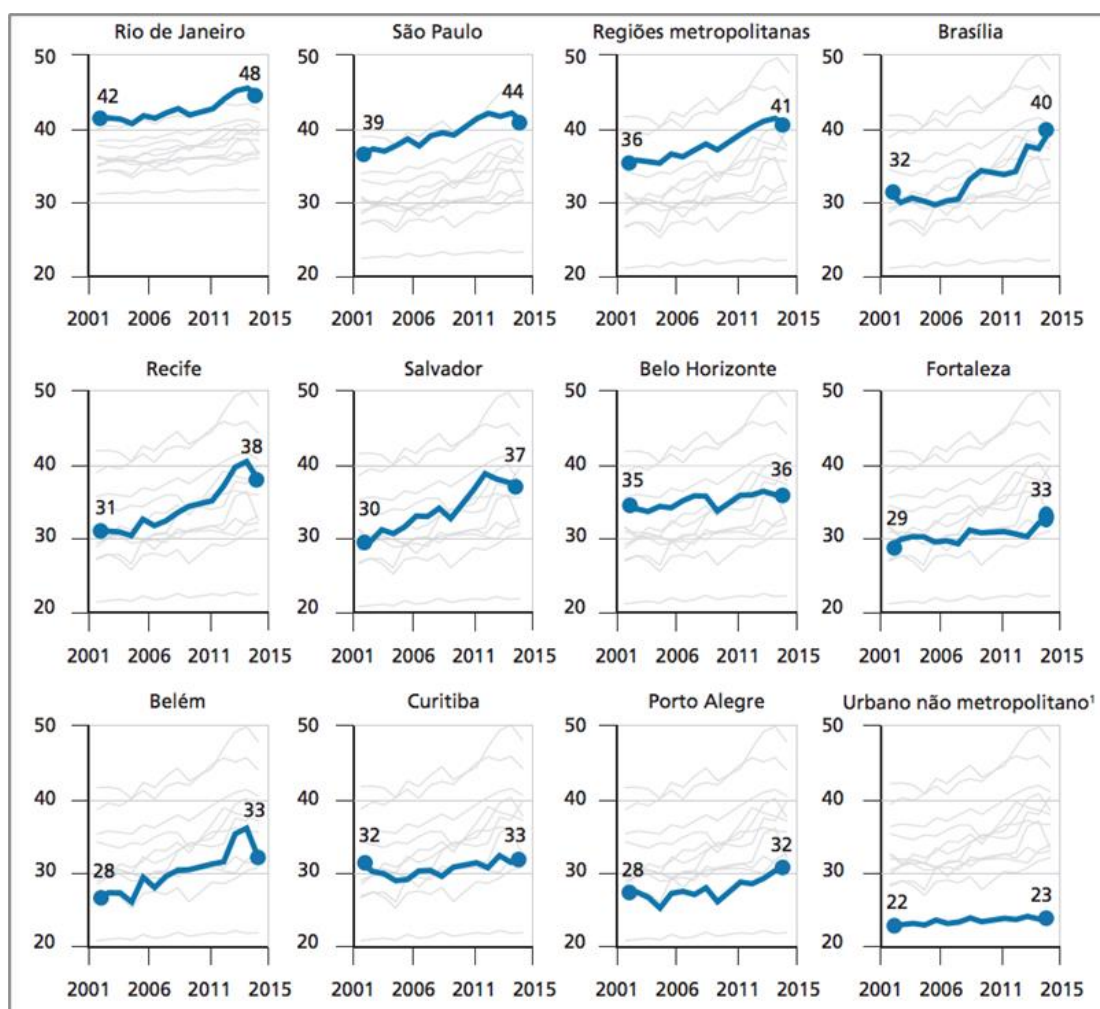


Fonte: Dados do Denatran e estimativas² de população do IBGE apud IPEA (2021, p. 26)

De acordo com a entidade, de 2001 a 2015, registrou-se também o aumento do tempo médio no deslocamento entre casa e trabalho, evidenciando uma constante deterioração das condições de mobilidade urbana, estando dentre os motivos o aumento da taxa de motorização individual (Figura 3). Segundo a ANTP (2020), é significativo ressaltar a importância do transporte coletivo público em relação ao meio ambiente, uma vez que o modal ônibus tem um consumo de espaço estático viário por pessoa transportada sete vezes menor que em automóveis; gasta seis vezes menos energia e tem menor emissão de gases poluentes, ou seja, apresenta um perfil mais sustentável que o modal automóvel. Além disso, apresenta, também, menor risco de acidentes fatais por quilômetro rodado.

² As estimativas incluem toda a população residente em áreas urbanas de municípios localizados fora das áreas metropolitanas apresentadas.

Gráfico 3 - Brasil e Regiões Metropolitanas: tempo médio no deslocamento casa-trabalho (2001-2015) (em minutos)



Fonte: PNAD/IBGE apud IPEA (2021, p. 31)

Segundo pesquisa realizada pela Rede Nossa São Paulo em parceria com o IBOPE (2019), na cidade de São Paulo o problema com maior urgência de solução em relação aos ônibus municipais é a lotação destes; seguida pelo preço da tarifa; e em terceiro lugar, a frequência dos ônibus: posições presentes, também, em 2018 e em 2017, ano de início da referida pesquisa. Além disso, a pesquisa traz os motivos pela não utilização do ônibus e, novamente, a lotação é o principal fator mencionado. Em seguida, tem-se a demora do trajeto e, em terceiro lugar, o uso do carro em detrimento ao ônibus.

Segundo a ANTP (2020), houve o crescimento da quantidade de veículos automotores no país: havia, em 2003, 36,6 milhões; já em 2019, o número passou para 104,8 milhões. Esse crescimento não foi acompanhado suficientemente pelo

investimento em infraestrutura, resultando em maiores congestionamentos nas principais vias urbanas, reduzindo ainda mais a velocidade dos ônibus e, consequentemente, ampliando seu custo.

Além da grande responsabilidade social conferido ao setor de transporte público, por representar um direito constitucional, é imprescindível destacar sua importância frente à economia nacional: considerando apenas o transporte coletivo sobre pneus (ou seja, excluindo a atuação do transporte coletivo sobre trilhos, por exemplo), houve a geração de renda da ordem de R\$54,2 bilhões em 2018, o que supera a Receita Orçamentária de 22 estados do país e também o PIB de 8 UF (Roraima, Acre, Amapá, Tocantins, Sergipe, Rondônia, Piauí e Alagoas) (ANTP, 2020).

Ademais, em 2018 a indústria do transporte público ficou atrás apenas do setor de fabricação de produtos alimentícios no quesito de volume de postos de trabalho, mostrando-se um grande responsável pela geração de emprego, renda e valor em sua operação. Os autores ressaltam, também, toda cadeia ligada ao transporte coletivo público, desde o setor fornecedor de energia, veículos, componentes de reposição e também serviços de fiscalização, manutenção, seguros e comércio (tanto regulares tradicionais quanto de ambulantes nos terminais) (ANTP, 2020).

Além da precedente queda de demanda, aqui já retratada, cabe evidenciar os impactos causados pela pandemia da Covid-19 em relação ao setor de transporte público coletivo, uma vez que resultou numa queda brusca no número de passageiros transportados: as medidas de isolamento para a contenção do vírus tiveram grande sequelas para a economia do país e a mobilidade da população. Num primeiro momento, devido às medidas de isolamento adotadas pelos governos, como fechamento dos comércios, suspensão de aulas e demais práticas de isolamento social, houve uma redução do congestionamento. Aos poucos, começou uma retomada dos níveis de congestionamento, mas a utilização do transporte coletivo não seguiu a mesma proporção de crescimento — o que sugere que a população tem dado maior preferência ao transporte individual, provavelmente por questão de segurança sanitária (IPEA, 2021).

Dentre diversos apontamentos realizados pelo IPEA (2021), visando o desenvolvimento do presente estudo, destaca-se a necessidade do desenvolvimento de sistemas de informações.

Esses sistemas podem incluir, por exemplo, dados sobre custos de tarifas e nível de oferta dos serviços de transporte público organizados em formato General Transit Feed Specification (GTFS),¹⁹ o monitoramento desses serviços a partir de sensores de GPS, pesquisas de contagem volumétrica e pesquisas com usuários. O uso combinado de informações de bilhetagem eletrônica com dados de GPS, por exemplo, permite que sejam feitas de maneira semiautomática e em larga escala estimativas de lotação de veículos (Sánchez-Martínez et al., 2018; Arbex e Cunha, 2020 apud IPEA 2021 p. 46).

Assim, tais sistemas de informações trariam benefícios tanto para o Setor Público e Operadores quanto para os usuários, que, ao ter acesso às informações trabalhadas, poderiam ter aumento de conveniência, como a otimização de tempo de espera, maior confiabilidade em informações de tempo e integrações e, principalmente, a maior flexibilidade e embasamento em suas escolhas de trajetos, de acordo com suas preferências pessoais (tempo, superlotação e itinerário).

Apesar da possibilidade de fazer coletas de dados manualmente, o processo exige alto esforço e custo, o que faz com que sejam realizadas com baixas frequências, aquém do necessário. Portanto, há o desejo do desenvolvimento de técnicas eficientes para a contagem de passageiros (PARADEDA, KRAUS JUNIOR e CARLSON, 2018).

4.2 Benchmarking

Ao analisar modelos de gestão de transporte baseados em coleta de dados em tempo real, verificamos uma diversidade de soluções com propostas bastante distintas em diferentes países. A seguir, algumas das propostas encontradas em trabalhos acadêmicos e outros materiais técnicos:

4.2.1 Ônibus flutuante da Irlanda

Na Irlanda, encontramos o artigo publicado por McKenna, Clarke e Golpayegan (2019, p. 2, tradução nossa)³, que propõe um sistema dinâmico de transporte por ônibus, chamado *Ônibus Flutuante*. O sistema de Barramento Flutuante usa solicitações de demanda do usuário, para criar paradas de ônibus flutuantes e oferecer rotas dinâmicas em conformidade. A solução proposta é composta por quatro componentes principais:

- Envio de solicitação: os pedidos especificam as coordenadas de coleta, coordenadas dos destinos e o número de lugares necessários para a viagem solicitada.
- Gerenciamento de alocação de veículos: que atribui um veículo a um pedido.
- Gerador de parada dinâmico: as solicitações podem ser tratadas em paradas de ônibus já definidas (ou seja, *waypoints*) ou eles podem ser criados se as solicitações estiverem fora do alcance dos que existem. Os *waypoints* são atualizados para serem posicionados no segmento mais próximo da rede rodoviária real para funcionar como paradas para os Ônibus Flutuantes.
- Planejador de rotas: solicitações dos passageiros e o cálculo dos waypoints são usados para planejar uma rota dinamicamente.

4.2.2 Vigilância de tráfego de Cingapura

Em Cingapura, há um alto investimento em tecnologia para a melhoria do sistema público de transporte⁴. Os números mostram uma melhora significativa no desempenho, em função das soluções adotadas por esse país, começando por todos os ônibus serem dotados de sensores de ocupação e de localização, que permitem que a autoridade responsável pelo Transporte, *Land Transport Authority (LTA)*, use-os para coletar informações sobre a localização em tempo real dos ônibus e os horários de chegada em várias paradas para melhorar seu planejamento de transporte.

³ MCKENNA, Connor; CLARKE, Slobhán; GOLPAYEGANI, Fatemeh. **Ônibus Flutuantes: Planejamento de Rotas Dinâmicas e Alocação de passageiros com base na demanda em tempo real**. ResearchGate, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Fatemeh-Golpayegani-2/publication/338077192_Floating_Buses_Dynamic_Route_planning_and_Passenger_Allocation_based_on_Real-time_Demand/links/5dfcd5b74585159aa48d006f/Floating-Buses-Dynamic-Route-planning-and-Passenger-Allocation-based-on-Real-time-Demand.pdf?origin=publication_detail. Acesso em: 24/05/2022.

⁴ SMART NATION SINGAPORE. **ÔnEnhancing Public Transport Using Data**. 2022. Disponível em: <https://www.smartnation.gov.sg/initiatives/transport/open-data-analytics>. Acesso em: 31/05/2022.

A LTA também vem coletando dados anônimos dos cartões de tarifas dos passageiros para ajudar a identificar os pontos de pico (*hotspots*) dos passageiros, o que lhes permite gerenciar melhor as frotas de ônibus e a demanda dos passageiros.

Como resultado dessa coleta e análise de dados, o LTA obteve melhorias nas seguintes frentes:

- Redução de 92% no número de serviços de ônibus com problemas de lotação, apesar do aumento ano a ano na média diária de passageiros de ônibus;
- Redução de 3 a 7 minutos no tempo médio de espera em serviços populares de ônibus.

Este é apenas um exemplo de como os *insights* dos dados podem ajudar a melhorar o planejamento de políticas para fornecer uma melhor experiência de deslocamento para o público em geral.

O *SG Traffic Watch* usa uma combinação de dados em tempo real e análise histórica para fornecer *insights* de forma a ajudar a gerenciar o tráfego rodoviário.

Ele extrai dados do *Land Transport DataMall* da LTA e do serviço meteorológico NEA, fornecendo gráficos analíticos que traçam as condições de tráfego atuais em relação às tendências anteriores. Seu mapa em tempo real permite que os usuários explorem como as diferentes fontes de dados podem ajudar a explicar o congestionamento e outras situações de tráfego.

Podemos notar que os dados de transporte abertos fornecem informações úteis que o público e os desenvolvedores de terceiros podem acessar facilmente para criar soluções de transporte eficientes.

Atualmente, os usuários podem acessar os conjuntos de dados de transporte *Land Transport DataMall* da LTA para obter:

- Dados em tempo real sobre os horários de chegada dos ônibus;
- Disponibilidade de táxi;

- Condições de trânsito;
- Disponibilidade de estacionamento.

Os dados são bastante acessados: as estatísticas mostram que os downloads desses dados aumentaram de uma média de 4 milhões para 600 milhões por mês desde abril de 2015.

Esses dados também foram bem utilizados, com vários aplicativos de transporte de terceiros desenvolvidos como resultado. Um exemplo é o *chatbot Bus Uncle*, um aplicativo de guia de ônibus útil com uma personalidade de “tio” mal-humorado que fala bem *Singlish* (dialeto do inglês falado em Cingapura).

A LTA tem um sistema de Precificação Eletrônica de Estradas (ERP), de última geração, em andamento para coletar dados de tráfego abrangentes e agregados em tempo real. Isso permitirá que a LTA intervenha de forma mais eficaz, por exemplo, ajustando os horários dos semáforos e dando prioridade aos ônibus.

Outro exemplo é o sistema *Fusion AnalyticS for Public Transport Emergency Response (FASTER)*, que processa dados coletados de várias fontes para:

- Ajudar autoridades e operadores de transporte público a visualizar padrões de deslocamento para melhorar o planejamento de transporte;
- Acionar alertas antecipados para o surgimento de multidões;
- Prever o impacto de incidentes, como atrasos no transporte e o número de passageiros afetados;
- Recomendar medidas como a injeção de trens e ônibus adicionais para responder rapidamente a incidentes de transporte.

4.2.3 Sistema de Coleta de Dados BMS na Coreia do Sul

Outra iniciativa de sucesso é a solução BMS (*Bus Monitoring System*) implementada nas cidades de Seoul e Daejeon na Coreia do Sul.⁵

⁵ **INNOVATIVE GOVERNANCE OF LARGE URBAN SYSTEMS**. Case study: Displaying real-time bus occupancy levels in Seoul, South Korea. 2017. Disponível em: <https://iglus.org/case-study-displaying-real-time-bus-occupancy-levels-in-seoul-south-korea/>. Acesso em: 31/05/2022.

A capital Seul é uma megacidade com uma população de 10 milhões de habitantes, e o congestionamento causado pelos carros de passeio era tão grave que o papel do transporte público — de ferrovias urbanas e ônibus — passou a ter um peso ainda mais importante. A rede ferroviária urbana se expandiu de 107,3 km em 1980 para 264,7 km em 1990; e de 469,6 km em 2000 para 621,9 km em 2015. No entanto, a taxa de crescimento da construção de estradas foi de apenas 1/4 da de automóveis de passageiros. Nessas circunstâncias, a competitividade dos metrô com alta precisão de chegada foi fortalecida, enquanto os serviços de ônibus se tornaram precários diante da grande demanda.

Em particular, nas principais cidades da Coreia, várias políticas e tecnologias como o BRT, BMS e BIS (*Bus Information System*), sistema de tarifa integrada de transporte público e sistema de pagamento eletrônico mencionados acima foram aplicados em conjunto para a reforma do transporte público. Como resultado, os ônibus passaram a desempenhar um papel mais significativo como meio de transporte público ao longo do tempo. Além disso, a conveniência dos passageiros melhorou e o número de usuários de ônibus aumentou muito. Vejamos a seguir a organização e a operação do BMS coreano sendo explicadas.

A falta de informação e pontualidade, o excesso de velocidade, a condução abusiva e a falta de informações de chegada e saída em tempo real na operação de ônibus fizeram com que as reclamações dos usuários de ônibus continuassem, o que levou a uma diminuição da participação modal de ônibus. Como alternativa para resolver muitos problemas dos ônibus para o transporte público, a importância do BMS tem sido enfatizada, e sua implantação começou em Seul desde o início dos anos 2000.

O BMS é o sistema que visa aumentar a competitividade dos ônibus como transporte público por meio do planejamento de uma política de ônibus razoável. Assim, o BMS é usado para melhorar a pontualidade na operação e no comportamento de condução, além de fornecer uma variedade de informações de ônibus e rastrear dados históricos de operação. O Centro de Controle de Tráfego (TCC) é o centro de todas as estratégias de gerenciamento de ônibus,

desempenhando o papel fundamental na execução da maioria das estratégias. O BMS melhora a conveniência dos usuários de ônibus fornecendo informações que são geradas no TCC, onde a localização do ônibus é coletada, analisada e processada em tempo real.

Por fim, concentra-se em serviços de prestação de informações por meio da construção de sistemas, como Terminal de Informações de Ônibus (BIT), site na Internet, Serviço de Resposta Automática (ARS) e serviço móvel. Na Coreia, cada governo local administra os projetos e as políticas de transporte público. As empresas privadas de ônibus possuem seus ônibus, mas os operam e os gerenciam sob o BMS e o BIS, que são projetados e controlados pelos governos locais.

O sistema mais básico para o BMS é o sistema de coleta de dados que identifica a localização exata atual do ônibus e o envia para o centro de controle rapidamente. Ele está diretamente relacionado à precisão das informações futuramente processadas no centro. Portanto, o Sistema de Coleta de Dados é muito importante para a produção de informações confiáveis. O Sistema de Coleta de Dados pode ser classificado em dois tipos: uma tecnologia de rastreamento de localização, que identifica a localização atual, e uma tecnologia de comunicação sem fio, que transmite a localização identificada ao centro.

Quanto à tecnologia de rastreamento de localização, o Sistema de Posicionamento Global (GPS) baseado em link é usado atualmente na Coreia do Sul. No início do BMS, outras tecnologias, além do GPS, também foram utilizadas, incluindo a estação base de radiofrequência (RF) (método *beacon*) e o *Dedicated Short-Range Communications* (DSRC), ambos dispositivos de detecção de localização instalados nas margens das estradas. Existem várias razões pelas quais o GPS é agora amplamente usado para BMS na Coreia. No entanto, podemos destacar três mais importantes:

Primeiro, é muito mais econômico do que outras opções. Em segundo lugar, a precisão da tecnologia de localização GPS é excelente. Por último, a tecnologia GPS

não é influenciada pelo clima e é improvável que forneça dados errados e, portanto, a coleta de dados confiáveis é garantida.

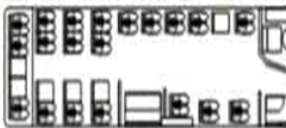
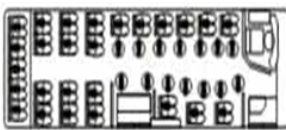
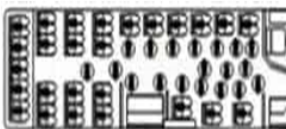
O sistema de tarifas também foi reformulado para coincidir com o lançamento do cartão inteligente T-money (“T” representa “tecnologia, transporte e toque”). Anteriormente, as transferências de ônibus para ônibus ou ônibus para metrô exigiam uma tarifa separada. Isso fez com que os passageiros usassem rotas de ônibus fora do curso considerado ideal, pois o que importava mais era evitar transferências. No novo sistema, são permitidos até quatro traslados gratuitos, incentivando os passageiros a encontrar a rota e a combinação de modal que minimize o tempo de viagem. Isso tem o efeito colateral positivo de reduzir a tensão no sistema, minimizando o número de passageiros-minutos gastos no sistema. O cartão inteligente T-money tornou-se uma parte indispensável da infraestrutura de transporte de nível de serviço.

Um inovador serviço de cobrança “pós-pago” lançado em 2013 vincula o cartão ao cartão de crédito do usuário e fatura os gastos acumulados mensais no final de cada mês, eliminando, assim, a necessidade de recarga do cartão. O cartão T-money já pode ser utilizado em táxis, bicicletas compartilhadas e na maioria das cidades e regiões do país. É possível que ofertas adicionais, como compartilhamento de carros e planos de assinatura “all you can-ride”, sejam adicionadas posteriormente. Isso geraria interferências na linha entre um sistema de pagamento simples e um verdadeiro conceito de *Mobility-as-a-Service* (MaaS), como “Whim” da Maas Global, lançado em Helsinque, Finlândia, em 2016.

4.2.3.1 Introdução de informações de nível de ocupação de ônibus em tempo real

Em 22 de maio de 2017, Seul aprimorou a qualidade das informações fornecidas ao adicionar condições de ocupação em tempo real, que são determinadas usando dados de embarque de passageiros e existentes que já são coletados para determinar a distância de viagem e o tempo de transferência.

Figura 1 - Nível de ocupação dos ônibus

Level	Guide to level of congestion inside the bus	
Espaçoso Spacious(여유)		Existem lugares disponíveis
Normal (보통)		Passageiros em pé conseguem cada um segurar nas barras e alças de apoio
Lotado Crowded(혼잡)		Passageiros estão obstruindo a passagem e seus corpos estão mais próximo que o normal.

Fonte: Innovative Governance of Large Urban Systems (2017)

Discrepâncias na precisão das informações de ocupação em tempo real.

As informações de ocupação em tempo real não serão totalmente precisas devido a vários fatores:

- Os ônibus em Seul aceitam pagamento em dinheiro e os passageiros que pagam em dinheiro não são registrados nas estatísticas de ocupação em tempo real. No entanto, o número de passageiros que pagam em dinheiro representa uma proporção pequena e decrescente do total de passageiros de ônibus.
- **Tap-out incompleto (registro de saída):** os passageiros devem tocar seus cartões inteligentes ao entrar e sair do ônibus (o período de transferência gratuita de 30 minutos é calculado a partir da saída dos portões de ônibus ou metrô). No entanto, os passageiros às vezes esquecem de bater corretamente. Esses passageiros aparecerão incorretamente como presentes no ônibus.
- **Evasão de tarifa:** Um pequeno número de passageiros evade o pagamento da tarifa, e isso obviamente não será refletido nas informações de ocupação.

No entanto, espera-se que o nível de imprecisão dos fatores acima mencionados não ultrapasse 1 a 2 pessoas por ônibus. Tarifas em dinheiro e tarifas que evitam a ocupação sub-contada enquanto a marcação incompleta a conta em excesso, de modo que os erros serão ainda mais reduzidos.

- **Método de disponibilidade de informações:** As informações de ocupação são exibidas em placas eletrônicas instaladas nas principais paradas de ônibus em Seul entre parênteses após o número da rota.

Figura 2 - Informações de ocupação em placas eletrônicas



Fonte: Innovative Governance of Large Urban Systems (2017)

- Guia em inglês para o quadro de avisos eletrônico: Números de rota exibidos em branco.
- ETA (Estimativa da chegada) exibido em azul no lado direito da coluna (분 = minutos).
- Chegadas iminentes (dentro de 1-2 min) exibidas na caixa amarela na parte inferior
- Informações de ocupação exibidas entre parênteses após o número do ônibus na caixa de chegada iminente: Espaçoso (여유) em verde; Normal (보통) em amarelo; e lotado (혼잡) em vermelho.

O acesso às informações de ocupação em tempo real permite que os passageiros ajustem seus planos de viagem de várias maneiras e isso fornece benefícios do nível de serviço à vista da mostra das informações de ocupação (Cenários de casos de uso):

- Aguardar o próximo ônibus na mesma rota. Os intervalos nas rotas principais geralmente não duram mais do que 7 a 8 minutos. Idosos, passageiros com mobilidade reduzida, aqueles que viajam longas distâncias ou que simplesmente preferem viajar sentados, podem escolher se preferem aguardar pelo ônibus seguinte de acordo com a sua lotação.
- Selecionar uma rota de ônibus alternativa que percorre o mesmo corredor. Alternativamente, um que segue uma rota semelhante.
- Escolher pelo metrô. Para muitas combinações de origem-destino, os metrô fornecem cobertura (embora geralmente com distâncias de caminhada mais longas envolvidas). A possibilidade de planejamento pelo usuário pode tornar menos inconveniente ficar em pé em um metrô, mesmo que esteja igualmente lotado.
- Caminhe ou ande de bicicleta o trajeto final (*Last Mile*). Para viagens curtas (normalmente aquelas que ligam a origem ou destino à estação de metrô); alguns passageiros podem preferir simplesmente caminhar ou usar o esquema de compartilhamento de bicicletas.

Benefício no nível do sistema: redução do “agrupamento de ônibus”

Fornecer informações de ocupação de ônibus pode ser útil para reduzir o “agrupamento de ônibus”: quando o intervalo entre o primeiro e o segundo ônibus na mesma rota aumenta, por exemplo, devido ao congestionamento do tráfego, o número de passageiros esperando pelo segundo ônibus aumentará (assumindo que os horários de chegada dos passageiros nos pontos de ônibus são distribuídos de forma aleatória e uniforme). Como cada embarque e desembarque de passageiros leva um certo tempo, a carga extra neste segundo ônibus irá atrasá-lo ainda mais, estreitando o caminho para o terceiro ônibus na mesma rota. Portanto, poucos passageiros

estarão esperando por este terceiro ônibus, então ele viajará mais rápido que o segundo ônibus e poderá até alcançá-lo. No entanto, com as informações de chegada e ocupação em tempo real, os passageiros podem ver que o terceiro ônibus está levemente carregado e apenas alguns momentos atrás. Deste modo, alguns passageiros podem deixar o segundo ônibus passar e esperar pelo terceiro. Com cargas mais uniformemente distribuídas, a diferença de velocidade entre o segundo e o terceiro ônibus será reduzida, ajudando, assim, a manter um espaçamento mais uniforme.

Este estudo de caso examinou a recente introdução de informações de ocupação de ônibus em tempo real em Seul, Coreia do Sul. Ele mostrou que essas informações representam um exemplo claro do caminho a ser desenvolvido, pois resulta em um refinamento da experiência do usuário, segurança e eficiência por meio de inovações incrementais, em que apenas mudanças modestas nos protocolos usados para processar e distribuir os dados existentes foram necessárias.

Embora esteja fora do escopo deste estudo de caso fornecer uma análise de custo/benefício, é uma suposição razoável que os custos envolvidos foram modestos em comparação com outras mudanças na infraestrutura física de transporte. Os dados de ocupação de ônibus de horário dependem da ação dos passageiros de tocarem em seu cartão de tarifa ao embarcar e sair do veículo, o que já é o caso em Seul. Portanto, fornecer dados de ocupação não exigiu nenhuma mudança de comportamento dos passageiros. Em sistemas em que tanto a entrada quanto a saída não são necessárias, a coleta dos dados indispensáveis exigiria a instalação de infraestrutura física, como sensores que medem as saídas de passageiros, dentro e fora.

4.2.4 Principais descobertas e lacunas de pesquisa

O surgimento de Sistemas de Transportes Inteligentes (ITS), *Intelligent Transportation Systems*, desafia os métodos convencionais de apoio à decisão, ao mesmo tempo em que cria novas oportunidades de pesquisa. A seguir, indicaremos como eles estão forjando novos caminhos para o desenvolvimento de modelos

orientados a dados destes sistemas inteligentes, no que diz respeito ao planejamento do transporte público.

4.2.4.1 Desafios práticos que surgem na exploração de dados de ITS

A revisão da literatura existente lançou luz sobre certas questões práticas, que até agora têm dificultado a ampla adoção de modelos baseados em Sistemas de Transportes Inteligentes para planejamento e projeto de transporte. Estes incluem, mas não se limitam a:

- Processamento de dados adicional necessário: Muitos sistemas **AVL** – *Automated Vehicle Location* (Localização Autônoma de Veículos) e os sistemas **AFC** (*Automatic Fare Collection*) – Sistema de Recebimento Automático – não arquivam dados de maneira pronta para ser utilizada, uma vez que eles são projetados principalmente para sistemas de monitoramento. Isso significa que é necessário o processamento de dados adicionais e a análise para tornar esses dados úteis para os planejadores de trânsito.
- Falta de integração entre várias fontes de dados: são necessários procedimentos complicados, para que as entradas exigidas por um modelo de planejamento/design, além do conhecimento dos profissionais e os resultados de sistemas de monitoramento, sejam consolidadas em um só *Framework*.
- Diferentes graus de penetração da frota: Enquanto sistemas AVL são normalmente instalados em frotas inteiras de ônibus, o mesmo não é verdade para **APCs** (*Automatic Passenger Count*) – Contabilização Automática de Passageiros – que podem ser implantados em 10-15% da frota. A disponibilidade de dados de demanda de passageiros ou a falta deles determina a análise que pode ser realizada, como sem APC/AFC; este último é inevitavelmente limitado a características operacionais, como velocidade, atraso e confiabilidade.
- Estado atual da prática: o papel das abordagens baseadas em otimização tem sido um pouco limitado a apoiar os tomadores de decisão em vez de

realmente decidir, enquanto a maioria dos estudos aborda problemas “estilizados”, faltando o grau de realismo necessário em prática.

- Maiores requisitos computacionais: Modelos de planejamento requerem a execução de mais tarefas computacionalmente intensas, enquanto tradicionalmente algoritmos bem conhecidos usados devem ser modificados no caso de informação em tempo real.
- Políticas de compartilhamento de dados das operadoras: Algumas operadoras adotaram uma postura de compartilhamento de dados, estimulando pesquisas relacionadas a Sistemas Inteligentes de Transporte. No entanto, esse não é o caso típico, pois a disponibilidade limitada de amostras de dados é frequentemente relatada devido a preocupações de privacidade e restrições dos órgãos reguladores.

4.2.4.2 Planejamento de nível tático

Decisões de planejamento a nível estratégico podem beneficiar-se da análise de padrões de passageiros e da trajetória de veículos. Por exemplo, podemos incorporar técnicas estatísticas e de simulação dentro de *Frameworks* de otimização para levar em conta a natureza estocástica dos tempos capturados de viagem do veículo, registros de localização e padrões de viagem incorporados, explorando dados de contagem de passageiros de recebimento automático.

Além da programação de horários, a extração de fluxos de viajantes dos dados de recebimento automático permite análises de nível tático adicionais, tornando a inferência origem-destino um caminho de pesquisa proeminente. A maioria dos estudos anteriores neste campo utiliza conjuntos fixos de suposições e regras, sequencialmente aplicados para selecionar as origens/destinos mais prováveis. Tais estudos relataram precisão aprimorada para estimativa de resultados, destacando o potencial para dedicação de mais esforços de pesquisa para o enriquecimento de uma base otimizada e um processo de validação robusto.

Estimulado pela presença de dados geoespaciais, bem como a necessidade de contornar a falta de dados sociodemográficos e informações de destino final de

viagem em dados de sistema inteligentes, a detecção de padrões de atividade têm sido um tópico investigado na literatura. Metodologias de agrupamento bem conhecidas têm sido empregadas para extrair padrões espaciais e temporais de dados de sistemas de recebimento automáticos, que se baseiam em limites arbitrários e valores de parâmetros sob algum tipo de informação contextual ou preferências do usuário. Embora mais difícil de projetar e implementar, este conjunto pode se adaptar a padrões de dados mais complexos e pode ser usado em concomitância com modelos de simulação de demanda de viagens.

4.2.4.3 Operações em tempo real

Algoritmos de previsão de tempo de viagem podem contribuir para as soluções de roteamento flexíveis, de forma que estime como os desvios de cronograma podem alterar a execução. A combinação de modelos de controle e metodologias de previsão é considerada um caminho promissor para tal finalidade.

Além disso, a disponibilidade de passageiros em tempo real, por intermédio de dados de demanda, pode melhorar significativamente o desempenho de modelos de controle em casos de superlotação e no contexto de sincronização de transferência. Por fim, as estratégias de controle são verificadas quase exclusivamente por meio de simulação, mas a implementação de um método de controle em tempo real envolve desafios técnicos que podem ser negligenciados.

4.2.4.4 Tendências emergentes

A era do *big data* cultivou uma nova realidade no planejamento de transportes. Além dos Sistemas Inteligentes de Transportes, novas fontes de dados tornam-se disponíveis para capturar mecanismos de comportamento de viagem e estimar modelos de transporte relevantes.

A explosão geral de dados, por sua vez, levou à exploração de estruturas de planejamento automatizadas, oferecendo um processo simplificado para manipulação de dados.

Fontes de dados emergentes decorrentes da penetração onipresente de dispositivos conectados na Internet podem ser exploradas por conta própria ou em conjunto com os dados de sistemas inteligentes, para facilitar o planejamento de transporte. Mais notavelmente, o telefone celular tem estado no centro dos esforços relevantes devido à sua ampla cobertura espacial e temporal e a possibilidade de atualização em tempo real, o que pode levar a modelos de transporte responsivos. Junto com suas vantagens inegáveis, os dados móveis vêm com um conjunto único de desafios. Contudo, há de se ponderar que em se tratando de análise com base em dados de telefones celulares, problemas como oscilação de dados/falso deslocamento e incerteza na localização, deverão ser levados em consideração para a análise de resultados. Apesar dessas questões, as imensas oportunidades de pesquisa decorrentes da mobilidade de dados telefônicos estimularam esforços, principalmente na área de informática e no campo da ciência, em direção a métodos e algoritmos para superar a dificuldade de estimar com precisão a localização dos usuários e, conseqüentemente, os modelos de comportamento de viagem.

Ao contrário dos dados de Sistemas Inteligentes de Transporte, os dados do telefone móvel apresentam a grande vantagem de rastrear usuários em todos os modais, capturando um espectro maior de atividades. Embora a natureza orientada a eventos dos dados de telefones celulares pode não permitir a estimativa de conexão de tempo de viagem, as altas taxas de penetração e os longos períodos de registro têm potencial para prever os fluxos de passageiros. Capitalizando este último, uma série de esforços de pesquisa em estimativas de fluxo de passageiros de rastros de telefones celulares foram publicadas recentemente, entretanto negligenciam a escolha do modal de transporte, devido a alguns fatores limitantes.

Para o planejamento de transporte público, as matrizes Origem-Destino geradas a partir de dados móveis devem ser pós-processadas para obter tabelas de viagens específicas. Até agora, estudos sobre inferência de escolha de modal com base em dados móveis são escassos, uma vez que os investigadores sublinham a complexidade da tal tarefa. De fato, a identificação do modo de viagem a partir de registros de telefones celulares requer o uso de várias fontes de dados em conjunto para estimativa de velocidade e viagem dos algoritmos de correspondência. Em

termos de estratégia de planejamento de rede de trânsito, foi examinada grande amostra de dados para:

- a) Identificar padrões de mobilidade frequentes (ignorando escolha do modal) a partir de dados do telefone celular;
- b) Gerar rotas de transporte público.

Os dados de telefones celulares têm o potencial de facilitar a modelagem de microsimulação, incluindo modelagem baseada em atividade e baseada em agente com base na teoria de rede complexa. Eles também podem servir como fontes de dados suplementares para dados de recebimento automático para determinar os locais visitados por um indivíduo entre os registros de transações. No entanto, como os dados de sistemas inteligentes, os dados de telefones celulares carecem de informações semânticas, como atributos socioeconômicos e propósito da viagem.

Nesse contexto, abordagens de segmentação têm sido usadas juntamente com conjuntos de regras e suposições para inferência de atividade e distribuição de viagem.

4.3 Realidade da Empresa

O que existe atualmente no mercado são soluções parciais no que diz respeito à questão das informações em tempo real referentes à trajetória, à localização e à lotação de veículos, tais como a exposição na plataforma do Metrô de São Paulo dos carros mais cheios e do portal da prefeitura dessa cidade, que tem a localização de cada ônibus.

Atualmente, a Linha 4 - Amarela do Metrô de São Paulo já adota soluções que visam dar informações para o usuário acerca da lotação de cada carro da próxima composição que chegará à plataforma de embarque:

Figura 3 - Painel de informação ao usuário



Fonte: **ViaQuatro** (2016 apud METRÔCPTM, 2016)

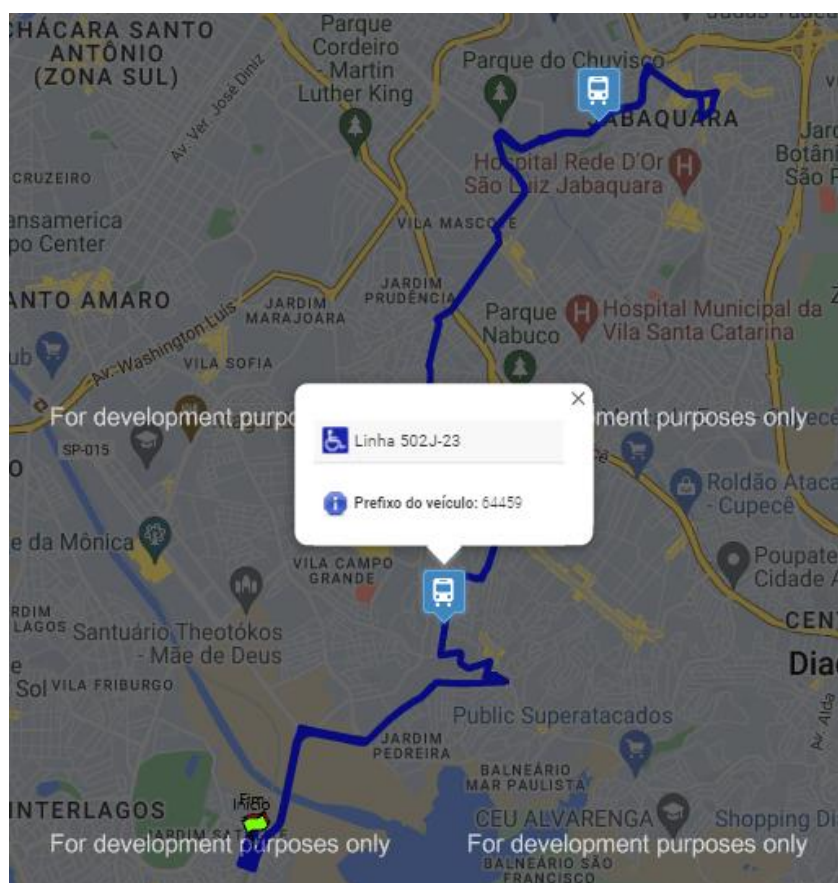
A informação é posta à disposição por meio de monitores que ficam em frente às escadas rolantes da plataforma. Os dados são extraídos dos sensores da suspensão de cada carro.

Além da taxa de carregamento aproximada de cada carro, o sistema também fornece o tempo para a chegada da próxima composição.

Verifica-se, assim, que as informações hoje disponíveis não permitem o planejamento da viagem, mas apenas uma decisão rápida sobre embarcar ou não em determinado carro ao chegar à estação.

Por outro lado, o sistema coletivo de ônibus urbano da capital de São Paulo fornece não somente o tempo para a chegada do próximo veículo, mas, também, a localização de cada um, por meio de dados obtidos por GPS:

Figura 4 - Tela de informação fornecida ao usuário



Fonte: Olho Vivo — SPTrans (2022)

Contudo, essa informação não é acompanhada de dados sobre a lotação do veículo, não permitindo antecipar uma viagem mais ou menos confortável.

4.4 Pesquisas e Levantamentos

Em conversa com um profissional do setor de infraestrutura de TIC para transportadores, Rafael Teles, da empresa Transdata, obtivemos diversas orientações e reflexões sobre a condução de nossa pesquisa:

- a) Analisar se a informação sobre lotação não afastaria o usuário nas linhas com grandes intervalos entre os ônibus, uma vez que ao indicar um grande tempo de espera e grande lotação, o passageiro poderia evadir-se para meios de transporte alternativos (Uber, por exemplo);
- b) Avaliar a aplicação de tecnologias usadas em viagens de grandes distâncias no transporte urbano: este é o desafio atual no mundo;

- c) Para não limitar o acesso dos usuários urbanos ao transporte público, não se pode exigir que eles tenham celular. Dessa forma, é preciso adotar solução híbrida, inclusiva;
- d) O empresário que não tem, atualmente, internet em seus veículos não gastaria com tecnologia que não trouxesse retorno, além do fato que, tradicionalmente, no Brasil, há a preocupação apenas com o controle de embarque do passageiro, e não com os desembarques. A partir disso, é necessário avaliar outras fontes de financiamento para viabilizar tal situação;
- e) Uso de dados dos usuários para obter localização. Aplicativos, como Google e Apple, precisam justificar o uso de dados pessoais, passando por auditoria nas trocas de versão;
- f) Avaliar o uso de câmera nas portas. Alto investimento com processamento local, além de margem de erro na informação;
- g) Avaliar sensor nos assentos, conforme case dos ônibus Double Decker (dois andares) em Londres: no piso superior, só é permitido que o passageiro viaje sentado; então no piso inferior pode-se ver se há assentos disponíveis;
- H) Avaliar aplicativo de check in e check out (CiCo), em que um sistema compara a velocidade de movimentação do celular com a do ônibus. Entretanto, há alguns desafios: e se o usuário desligar o celular ou acabar a bateria? Seria preciso usar fiscal?

5 DESENVOLVIMENTO

Nossa proposta visa empoderar o usuário com informações confiáveis, disponibilizadas de forma simples e intuitiva, para que ele sempre tenha poder de decisão e possa escolher a rota que vai lhe proporcionar menor tempo e/ou mais conforto. Dessa forma, vamos facilitar o dia a dia do usuário de transporte coletivo, dando uma ferramenta para que ele possa programar o seu respectivo trajeto, além de possibilitar que ele realize os seus trajetos com mais qualidade, a partir de suas demandas.

Faremos isso através de um aplicativo de celular, visando a disponibilização, para a população, de dados em tempo real da localização, ocupação e estimativa de chegada das linhas de Metrô e Ônibus Metropolitano (da região Metropolitana de São Paulo). Sabemos que, por vezes, esses dados são disponibilizados em algumas plataformas, mas não com a confiabilidade e conveniência de estarem todos os modais consolidados em uma plataforma única, dotada de vários recursos simples, que visam a busca e a disponibilização dos dados, os recursos avançados de trajetos e o tempo estimado de percurso.

O fator segurança da informação também servirá de norte como oferta de benefício aos usuários, uma vez que, contando com informações em tempo real, poderão saber o fluxo de pessoas em uma região e em determinado horário, a partir de dados compartilhados por outros usuários sobre o local.

Não pretendemos auxiliar somente o usuário final, mas, também, as empresas prestadoras de serviço de transporte, pois munidas de informações em tempo real, poderiam aumentar, consideravelmente, as opções disponíveis, de forma a propor soluções a toda população. Como exemplo, pode-se aumentar temporariamente o número de linhas em determinadas regiões para dar vazão a um pico de demanda, sendo que a decisão de onde partiria o recurso também seria dado à vista das linhas com capacidades ociosas.

5.1 Proposta de Solução

Entendemos que existe uma lacuna não preenchida entre as informações disponibilizadas do Metrô de São Paulo, CPTM e as companhias de ônibus urbano, à vista de que, em uma cidade, tudo pode mudar a qualquer momento, seja por um desastre natural, uma manifestação que sai do curso planejado, ou um passageiro que entende que é melhor cruzar a linha da estação de metrô em vez de tomar as escadas. Cada um desses eventos já provocou atrasos enormes, mas, neste último exemplo, toda uma população sofreu e os usuários simplesmente ficaram por horas presos, como se estivessem em uma teia de aranha, sem saber o que, como e quando o serviço seria normalizado. Dessa forma, um gargalo se forma, as plataformas ficam tomadas, gera estresse aos usuários, mal súbitos, seguranças em alerta total, ou seja, todos os lados sofrem. Seria de proveito de todos se houvesse a disponibilização de informação em tempo real distribuída de forma ampla.

Conectados, os usuários que presenciaram o evento poderiam rapidamente ter esclarecido o fato com a administração do Metrô, o que economizaria horas para que os agentes que, acertadamente, precisaram fazer buscas para certificar que o usuário não estava mais na linha do trem.

Essa checagem durou cerca de 20 minutos, mas o impacto para o usuário do metrô durou cerca de duas horas. Caso uma pessoa que estivesse se dirigindo à estação recebesse essa informação, tendo em mente o horário e o local que precisaria estar, será que ela não poderia ter buscado a opção do ônibus, ou um serviço de aplicativo/táxi? E, até mesmo, poderia ter alugado uma bicicleta? Dessa forma, ao saber do atraso, o usuário poderia, ao menos, esperar fora da estação. O controle sobre o tempo de chegada de determinado meio de transporte traria pequenos benefícios como a possibilidade do usuário fazer uma breve refeição enquanto espera o tempo restante de chegada do seu meio de transporte, podendo confortavelmente acompanhar o status do serviço e decidir pela melhor hora para utilizar o modal.

Além disso, atualmente, as empresas são questionadas, via suas redes sociais, pelos usuários do transporte público que buscam respostas satisfatórias diante dos

problemas vivenciados; contudo, o retorno ofertado a esses questionamentos não atinge a integralidade dos anseios dos usuários, gerando descontentamento com o serviço prestado.

Diante do exposto, decidimos empoderar o usuário, por meio da construção de aplicativo que integre informações de carregamento de ônibus e da localização da frota, além de permitir às empresas difundirem suas informações de maneira ampla e adequada para satisfazer os usuários e melhorar a experiência no transporte público.

A solução proposta necessitará de duas fontes de informações de quantidade de passageiros em cada veículo e outra de sua localização. Para podermos informar a lotação do veículo, será oferecido serviço de internet gratuita a bordo por meio de conexão Wi-Fi⁶, o que permitirá estimar a quantidade de ocupantes através das conexões ativas.

5.1.1 Estimativa de embarque e desembarque de passageiros por detecção de sinal de wi-fi de dispositivos móveis

A detecção de dispositivos móveis Wi-Fi, tipicamente smartphones, permite estimar a quantidade de embarques e desembarques de passageiros do transporte público⁷. Um roteador de internet poderá funcionar como um equipamento detector de smartphones e registrará sinalizações de dispositivos em busca de conexão, associando-os aos respectivos endereços identificadores únicos.

De acordo com Vuchic (2005 apud PARADEDA; KRAUS JUNIOR; CARLSON, 2018, p. 988) “dados detalhados sobre o volume de passageiros em linhas de transporte público podem ser obtidos por contagens de embarque e desembarque (pesquisa “sobe-e-desce”) em cada ponto de parada ao longo do trajeto”.

⁶ Wi-Fi - Wireless Fidelity ou fidelidade sem fio

⁷ PARADEDA, Diego B; KRAUS JUNIOR, Werner; CARLSON, Rodrigo C. **Estimativa de embarque e desembarque de passageiros por detecção de sinal de wi-fi de dispositivos móveis**. In: 32º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET. Gramado, 04 de novembro a 07 de novembro de 2018. Disponível em: https://www.anpet.org.br/anais32/documentos/2018/Gestao%20de%20Transportes/Sistemas%20Inteligentes%20Aplicados%20a%20Gestao%20de%20Transportes/1_719_AC.pdf. Acesso em: 12 mar 2022

Além disso, segundo Paradedda, Kraus Junior e Carlson (2018, p. 989): “Com a disseminação de dispositivos móveis, como smartphones, surge a oportunidade de estimação de informações de usuários por intermédio da tecnologia Wi-Fi, com a qual estão equipados”. Ainda, de acordo com os autores: “Note-se que no Brasil 86% das pessoas utilizam Wi-Fi fora de suas residências (BARBOSA, 2016 apud PARADEDA; KRAUS JUNIOR; CARLSON, op. cit.). Esse número, inclusive, conforme elaborado pelos autores já citados “ultrapassa a utilização dos sistemas 3G ou 4G para acesso à internet. A predominância de uso de conexão Wi-Fi deve-se, principalmente, pela oferta gratuita de acesso em muitos locais e pelo consumo de energia dos dispositivos ser menor, no caso do Wi-Fi”.

Sobre a tecnologia Wi-Fi, Paradedda, Kraus Junior e Carlson (2018, p. 989) elaboram:

O interessante da tecnologia Wi-Fi é que pode ser usada de forma passiva, isto é, sem a necessidade de intervenção do usuário. Basta que o Wi-Fi esteja ativado para que o monitoramento do tráfego de requisições e de pacotes em redes sem fio Wi-Fi (NTM, do inglês *Network Traffic Monitoring*) detecte requisições de conexão em pontos de acesso de internet. A detecção de requisições combinada com informação de localização de ônibus, metrô e trem permitem, em princípio, identificarmos a partida e a chegada de passageiros. Nessa operação, obtém-se o identificador único do aparelho do usuário (endereço MAC) sem que a identidade deste seja revelada. Entretanto, no caso de haver cadastros digitais que associam o MAC a uma pessoa, deve-se anonimizar a informação coletada para garantia da privacidade do usuário.

Além disso,

A localização e velocidade dos carros podem ser obtidas por meio de localização automática de veículos (AVL, do inglês *Automated Vehicle Location*), que fornece os dados com base em rastreamento por satélite. O processamento em tempo real dos dados de AVL permite, por exemplo, realizar previsões de chegadas em pontos de parada (CATHEY E DAILEY, 2003 apud PARADEDA; KRAUS JUNIOR; CARLSON, 2018, p. 989).

No artigo que estamos utilizando como referência para este tópico, de Paradedda, Kraus Junior e Carlson (2018), o experimento realizado em cenário real detectou, em relação aos volumes de sobe-e-desce obtidos pelos pesquisadores, 80% dos embarques e desembarques de passageiros que ocorreram no ponto.

Vale lembrar que é possível obter dados de trajetos de usuários por intermédio dos seus próprios smartphones, por meio do próprio sinal da operadora de telefonia — porém, tais dados não são armazenados por padrão em todos os países e tampouco são públicos. Diante disso, embora o uso das tecnologias Bluetooth e Wi-Fi dependam da ativação do usuário, observa-se que essas tecnologias estão sendo usadas frequentemente e, conseqüentemente, estão permanecendo sempre ativadas pela maior parte dos usuários.

A escolha pelo método de coleta de dados deve ser baseada na facilidade, na velocidade e na confiança de obter a informação que se deseja coletar. Preferencialmente, deve-se minimizar a necessidade de interferência do usuário e optar por métodos que não afetem a sua respectiva experiência em termos de consumo de bateria. A diferença entre a escolha destas duas tecnologias pode se dar pela velocidade com que se coleta os dados, sendo maior com Wi-Fi, o que, para aplicações em tempo real, é extremamente importante.

A contagem automática de passageiros é feita com base nos dados coletados por meio de AVL e com base nas detecções de requisições de conexão Wi-Fi. Esses dados são processados apropriadamente para determinar os embarques e desembarques. A infraestrutura de coleta de dados de localização dos veículos (AVL) e o equipamento detector de dispositivos com Wi-Fi serão descritos a seguir.

5.1.2 Automated Vehicle Location - AVL

Os *Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT)* podem ser definidos, de acordo com Meirelles (2010, p. 2):

como a aplicação da tecnologia da informação, aliada à telecomunicação e à eletrônica, no planejamento, gestão, operação e fiscalização do transporte urbano. Configuram-se como alternativa viável em termos de custo-eficácia, além de contribuir para o atendimento das indispensáveis características de sustentabilidade do setor de transportes, dentre elas a redução do tempo perdido em congestionamentos, dos acidentes de trânsito, dos custos do transporte, do consumo de energia e dos danos ambientais.

Segundo Silva (2000, p. 24 apud MIYABUKURO, 2015, p. 27):

Embora em outros países sejam amplamente utilizados, no Brasil os *SIT* estão em fase inicial de utilização. Os principais campos de utilização pública dos *SIT* no Brasil são os relativos a controle e gerenciamento de frotas ou automatização de cobranças tarifárias, a exemplo da bilhetagem eletrônica (o *SIT* mais presente nas cidades brasileiras atualmente, a exemplo do cartão Siga de Blumenau). Mas poucas cidades possuem também *SIT* focados em controle operacional, a exemplo de São Paulo.

Sobre uma das áreas de SIT no Brasil, Silva (2000, p. 24 apud MIYABUKURO, 2015, p. 27) pontua que:

Sabendo disso, tem-se ainda uma das áreas de *SIT* que ainda não é muito explorada no Brasil e com grande potencial: os ATIS ou Sistemas de Informação ao Usuário (SIU). Considerados como uma ferramenta de diálogo com o usuário, estes permitem extrair um conjunto de informações relativas a uma rede, garantindo um aumento da qualidade do serviço prestado ao usuário. Em países com os SIT já em desenvolvimento, há um grande foco na implantação de ATIS, de modo a informar rotas e horários em tempo real, reduzindo os tempos de espera e atraindo os passageiros a modalidade de transporte coletivo.

Especificamente sobre os ATIS, o autor continua:

Os ATIS são sistemas que fornecem aos usuários informações a respeito do trânsito ou relativas à viagem que os mesmos estão fazendo, podendo ser subcategorizados em *pretrip* (sistemas que fornecem horários e rotas antes de o usuário efetuar sua viagem) e *en route* (como os sistemas de navegação GPS, que fornecem localização em tempo real para os passageiros, sendo utilizados durante sua viagem) (MIYABUKURO, 2015, p. 28)

Segundo Brasil (2008, p. 493-494 apud MIYABUKURO, 2015, p. 28),

os ATIS podem ser utilizados para informar rotas, horários e itinerários aos usuários, contribuindo para reduzir a ansiedade dos usuários do sistema de transporte. Também permitem a eles planejarem suas viagens em qualquer ponto, necessitando apenas um dispositivo como um smartphone para descobrir horários em tempo real e estimativa de chegada de veículos, além de poderem aproveitar melhor seu tempo executando outra atividade até a chegada em seu destino.

Seguindo o raciocínio, MIYABUKURO (2015, p. 28-29) elabora sobre os AVM (*Automatic Vehicle Monitoring*):

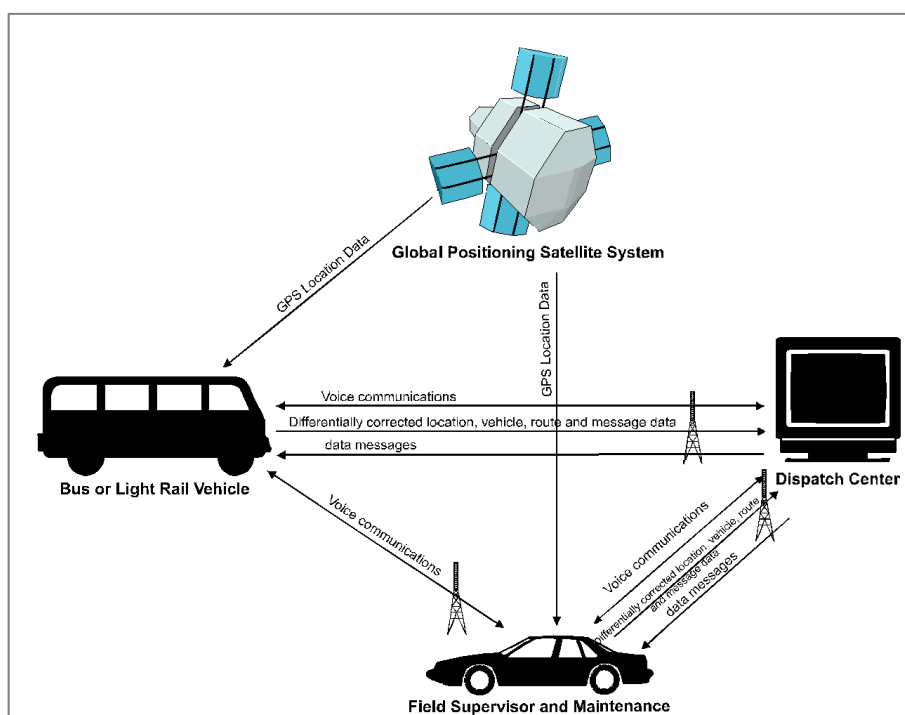
[...] são sistemas que permitem obter informações a respeito de tarifas, localização e condição física de veículos, sendo os mais utilizados os que permitem a localização de veículos, que são os sistemas *Automatic Vehicle Location (AVL)*- *Localização automática de veículos*. A partir de vários meios como beacons de proximidade, estimativa ou satélites, os sistemas AVL permitem fornecer melhores informações de assiduidade e melhor resposta a emergências.

Ainda de acordo com MIYABUKURO (2015, p. 29),

Atualmente, o uso de GPS⁸ em combinação com a tecnologia GPRS⁹ tem sido o mais utilizado, pois oferece facilidade de instalação, não requerendo infraestrutura específica, sendo necessário instalar apenas equipamentos nos veículos, bem como fornece também comunicação bidirecional entre o motorista do veículo e o centro que recebe os dados (Figura 5).

Em relação ao uso dos sistemas AVL (WPLEX, 2007 apud MIYABUKURO, 2015, p. 29): “Com o uso dos sistemas AVL no transporte coletivo, é possível detectar distorções nas grades horárias bem como aperfeiçoar as rotas, diminuindo atrasos, melhorando sua eficiência e gerando ganhos a satisfação dos usuários e a imagem das empresas prestadoras do serviço de transporte”.

Figura 5 - Estrutura conceitual de um sistema AVL



Fonte: Weatherford (2020 apud MIYABUKURO, 2015)

⁸ Global Positioning System

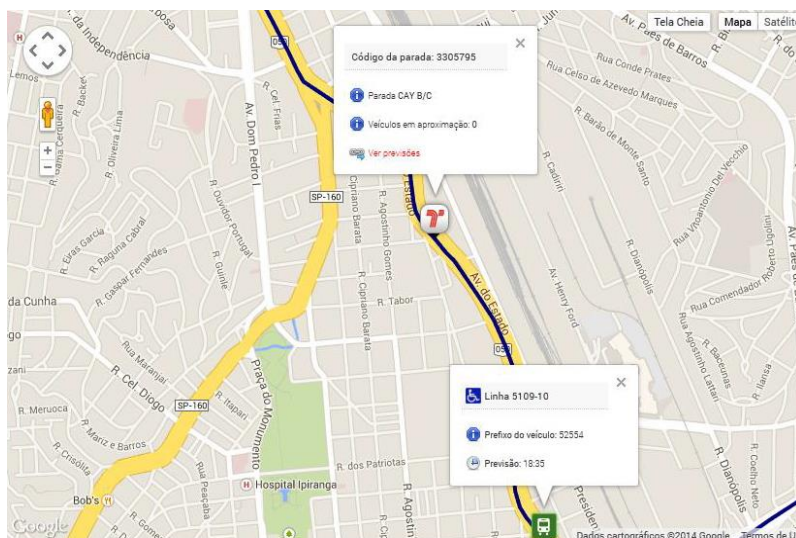
⁹ General Packet Radio Services, em português, Serviços Gerais de Serviços por Rádio

Para o presente trabalho, usaremos os dados obtidos pelo sistema AVL Olho Vivo SPTrans, desenvolvido pela SPTrans¹⁰ e implantado no ano de 2008 em São Paulo. Esse sistema de monitoramento de transporte disponibiliza informações de localização e estimativas de tempo aos usuários de transporte coletivo (SPTRANS, 2014a apud MIYABUKURO, 2015).

Sobre o sistema Olho Vivo, Miyabukuro (2015, p.32) elabora:

A partir do sistema Olho Vivo, o usuário pode descobrir a velocidade média de circulação dos ônibus tanto na cidade quanto em itinerários específicos, tempo médio de chegada a determinado ponto, tempo médio de trajeto e ter a visualização em um mapa dos pontos com maior ou menor lentidão e os ônibus e suas respectivas localizações (Figura 6). É possível também acompanhar um ou mais ônibus em específico para descobrir suas localizações e trajetos e verificar a estimativa de tempo para determinado itinerário a partir da indicação de um ponto.

Figura 6 - Exemplo de localização do ônibus no sistema Olho Vivo



Fonte: Olho Vivo (2015 apud Miyabukuro, 2015)

Ainda sobre o aplicativo desenvolvido pelo governo de São Paulo:

Por fim, o Olho Vivo oferece ainda uma API¹¹ para acesso aos dados do sistema, voltada a desenvolvedores de sistemas. Por meio dela, podem ser efetuadas consultas e disponibilizar suas informações a usuários de outros

¹⁰ São Paulo Transporte S/A é uma sociedade de economia mista controlada pelo município de São Paulo que tem por finalidade a gestão do sistema de transporte público por ônibus na cidade de São Paulo.

¹¹ Application Programming Interface (Interface de Programação de Aplicação)

sistemas. Para utilização da API, é necessário efetuar um cadastro junto a SPTrans (SPTRANS, 2014b apud MIYABUKURO, 2015, p. 32-33).

Em conclusão sobre a explicação do aplicativo Olho Vivo, Miyabukuro (2015, p. 33) escreve:

Embora a ferramenta seja bem completa, a mesma funciona apenas em navegadores de Internet, notando-se a ausência de um aplicativo específico desenvolvido pela SPTrans voltado para smartphones. Os aplicativos disponíveis para smartphones fazem uso da API do Olho Vivo apenas, mas são todos desenvolvidos por terceiros, sendo que não há um específico, o que dificulta a escolha do usuário.

5.1.3 Dispositivo detector Wi-Fi

Sobre os dispositivos Wi-Fi: “[...] têm como característica a troca de pacotes mesmo sem estarem conectados a um ponto de acesso” (TURNER, 1988 apud PARADEDA; KRAUS JUNIOR; CARLSON, 2018, p. 4).

De acordo com Paradedda, Kraus Junior e Carlson (2018, p. 4):

Por meio do NTM, é possível obter os dados de cada dispositivo Wi-Fi a cada troca de pacotes. Os dados obtidos pelo dispositivo detector de todo dispositivo Wi-Fi conectado ou buscando por um ponto de acesso para realizar a conexão em seu raio de captura são os seguintes:

- Endereço MAC: endereço físico único de cada dispositivo Wi-Fi;
- Primeira vez visto: primeira vez que um endereço MAC foi registrado;
- Última vez visto: última vez que um endereço MAC foi registrado;
- Potência do sinal: valor de potência reportado pelo dispositivo Wi-Fi;
- Pacotes: número de pacotes enviados para um usuário;
- BSSID¹²: endereço MAC de um ponto de acesso ao qual o dispositivo está conectado; e
- Probed ESSIDS¹³: endereço MAC do ponto de acesso ao qual um usuário está tentando se conectar.

Para a detecção dos dispositivos Wi-Fi, pode ser utilizado um modem 3G/4G com Wi-Fi integrado, que permitirá o envio imediato dos dados para um servidor.

Como forma de estimular o uso de Wi-Fi nos veículos, pretendemos fechar uma parceria com uma operadora de telefonia celular, para que ofereçam internet gratuita

¹² Basic Service Set Identifier

¹³ Extended Service Set Identifier

aos passageiros, mediante publicidade. Neste caso, a operadora do Wi-Fi compartilharia conosco a quantidade de pessoas em cada carro.

A oportunidade de ceder espaço para publicidade na página de login permitiria viabilizar financeiramente parte do projeto. Entendemos, inclusive, que o usuário de transporte público está mais propenso a usar o WiFi gratuito do que a internet 3G/4G, como forma de economizar seu pacote de dados.

Portanto, a parceria proposta resolve os problemas de financiamento e de incentivo ao uso do Wi-Fi, sem precisar criar incentivos artificiais. Além disso, o usuário não precisaria nem sequer preencher um cadastro para se conectar, bastando utilizar uma rede social como login:

Figura 7 - Tela de login da internet gratuita, oferecida pela rede de postos de combustíveis Pelanda



Fonte: Autoria nossa — Obtida em visita ao estabelecimento em 23/07/2022.

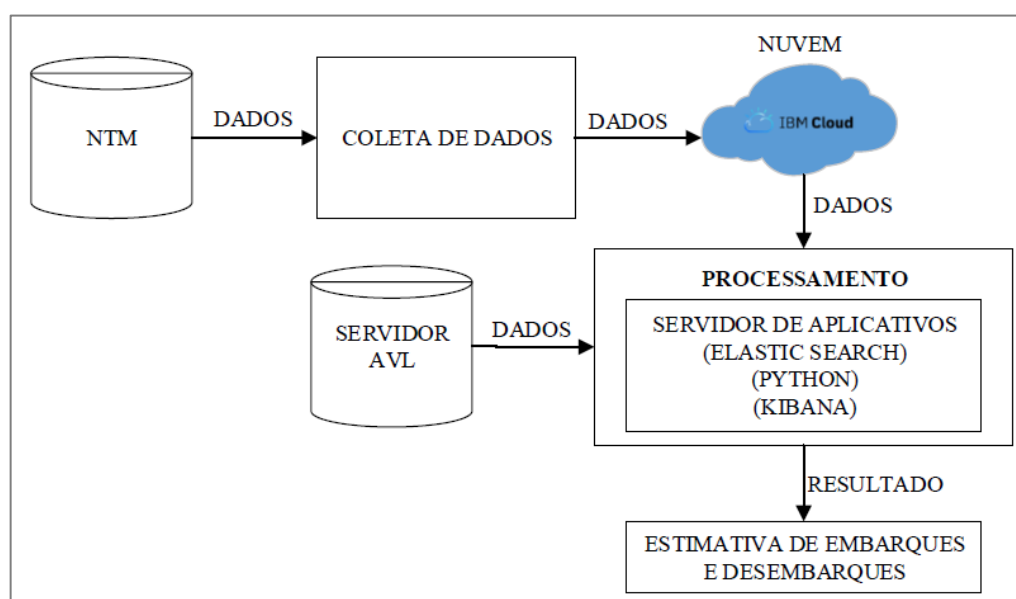
5.1.4 Procedimento de contagem automática de embarques e desembarques

Sobre o procedimento de contagem automática de embarques e desembarques (PARADEDA; KRAUS JUNIOR; CARLSON, 2018, p. 5):

O método de coleta e processamento consiste em detectar usuários que estejam com dispositivo Wi-Fi ligado e ativado dentro do raio de captura do dispositivo de coleta. Posteriormente, os dados serão processados em um servidor de aplicativos. O processamento relaciona o tempo de permanência na região de captura, número de detecções do usuário e potência do sinal com o horário aproximado de chegada/partida do ônibus para determinar se ocorreu um embarque ou desembarque e distinguir de detecções de transeuntes e pessoas que continuam no ponto. Embora o processamento possa ser feito em tempo real, neste trabalho o processamento foi todo realizado offline.

A Figura 8 apresenta a arquitetura geral do sistema de coleta. “Os dados dos dispositivos Wi-Fi são obtidos pelo dispositivo de coleta apresentando na seção anterior por intermédio do NTM e, assim que disponíveis, são enviados pela rede 3G para o servidor em nuvem da IBM” (Molloy, 2016 apud PARADEDA; KRAUS JUNIOR; CARLSON, 2018, p. 5). Os autores ainda completam que “ao final de um experimento, os dados armazenados no servidor e os dados obtidos do AVL por intermédio de relatórios são enviados para um servidor de aplicativos” (PARADEDA; KRAUS JUNIOR; CARLSON, 2018, p. 5).

Figura 8 - Método de coleta e processamento dos dados.



Fonte: Paradedda, Kraus Junior e Carlson (2018)

Sobre os dados coletados:

Em função da grande quantidade de dados coletados, torna-se inviável o processamento por meio de planilhas eletrônicas. Por conta disso, deve ser usado um servidor de aplicativos ElasticSearch” (Gormley e Tong, 2015; Bai, 2013) que permite a análise e processamento de grandes quantidades de dados e um algoritmo de processamento em Python. Nessa etapa do processo é realizado o cruzamento dos dados de AVL com os dados de NTM. A aplicação Kibana (Bagnasco et al., 2015) será a utilizada para a visualização dos dados processados (apud PARADEDA; KRAUS JUNIOR; CARLSON, 2018, p. 5-6).

Os autores (2018, p. 6) ainda explicitam que o processamento é dividido em quatro etapas: identificação e descarte de transeuntes, isto é, pessoas que apenas passaram pelo ônibus; identificação de pessoas paradas no ponto que ainda não embarcaram em ônibus; identificação de pessoas que embarcaram em um ônibus; e identificação de pessoas que desembarcaram de um ônibus.

A identificação e a classificação de passageiros que estão fora do veículo — que, portanto, serão descartados — serão determinadas pelo número de vezes que o endereço MAC, um endereço físico e único do usuário, for detectado. Considera-se, também, a potência do sinal dos dispositivos Wi-Fi registrado durante a medição. Sobre as pessoas que passam pelo ônibus por pouco tempo: seus endereços MAC serão detectados fora do tempo, além da contagem mínima aceitável para classificá-lo como passageiro, pois o tempo de intervalo de detecções será muito curto.

Já uma pessoa embarcada teria o seu endereço MAC registrado em várias detecções, à vista de que o tempo de permanência é mais longo. Portanto, entre a primeira detecção e a última conseguiremos auferir a média determinada para classificar como um passageiro no veículo. A potência do sinal pode ser alta nas vezes em que é detectado, indicando que está próximo ao detector. Considerando o fim de uma detecção de um endereço MAC com a ocorrência em sequência da partida do veículo, é alta a probabilidade que essa pessoa tenha desembarcado, portanto, seu status será alterado para desembarcado.

5.1.5 Aplicação de consulta do usuário

Detalhamos abaixo algumas questões técnicas e as principais ferramentas que proporcionaram a melhor resposta possível para o projeto.

Nossa proposta é de disponibilizar dados confiáveis e atualizados ao usuário, combinando tecnologias já bem estabelecidas, como o GPS. A utilização do celular se mostrou também importante pela questão de custo inicial do projeto e abrangência, devido ao alto nível de utilização entre os usuários. Para atingirmos nosso objetivo, é necessário atendermos a algumas funcionalidades, como a posição dos veículos, os trajetos, o horário e a previsão de chegada, bem como a ocupação do veículo. Assim, dividimos o trabalho em duas partes:

- a) Preparação para o recebimento, processamento e armazenamento dos dados os necessários para formulação do projeto, como os dados recebidos dos veículos, usuários e comandos da Central de Monitoramento e controle.
- b) App para uma plataforma, cujo usuário possa ter acesso a duas funcionalidades de verificação de itinerário, cronograma de chegada, ocupação e posicionamento dos veículos. Podendo definir, dessa forma, qual é o melhor horário para usar o serviço.

Novamente, deixamos claro o intuito do empoderamento ao usuário. Por este motivo, pensamos em uma solução simples, de forma que ele possa ter todas as informações necessárias para uma melhor tomada de decisão do seu deslocamento diário.

Podemos citar abaixo os Requisitos Funcionais para o app que permitem identificar:

- Linhas dos ônibus;
- Itinerários dos ônibus;
- Localização através de GPS e conexão via Internet;
- Mapa com pontos de parada e, conforme as linhas e suas rotas, a localização dos veículos;
- Sugestões de rota e tempo de percurso.

Abaixo os Requisitos Não Funcionais (RNF):

- Acessibilidade a sistemas operacionais Android 4.0 ou versões mais atualizadas;
- Programação em Python para o sistema de celular;
- Programação em C# e JavaScript para a visão web/front end;
- Sistema Mongo DB para controle de dados;
- GPS para a rota e posicionamento em tempo real dos veículos.

Como banco de dados, foi escolhido o MongoDB, em função do seu alto nível de flexibilidade, decorrente do fato de se tratar de um banco de dados não relacional, e que já dispusesse de ferramentas próprias para função de geolocalização.

A partir disso, os dados serão transferidos através de pacotes JSON¹⁴, um formato amplamente utilizado e de fácil tratamento, seja manualmente ou por tratamento via aplicativo.

Os pontos são cadastrados para a formação de um grafo, contendo seus pontos anteriores e posteriores. Sendo assim, possibilita a identificação dos itinerários e a melhor rota, no menor tempo possível, com base em um ponto de partida e o seu destino.

Por intermédio do caminho escolhido, são coletados os dados principais, e em posse destes dados, são demonstrados os melhores caminhos, também, para os ônibus traçarem suas paradas, além do destino final.

¹⁴ *JavaScript Object Notation*

Figura 9 - Exemplo de operação em um smartphone



Fonte: URBS, Curitiba (2022)

6 CONCLUSÃO

Concluimos pela viabilidade técnica, operacional e estratégica da solução proposta e, preliminarmente, também pela viabilidade financeira.

As informações de localização dos carros já estão disponíveis em São Paulo (SP), capital utilizada na proposta projetada, sendo necessário, apenas, firmar parceria com a empresa de comunicação para que disponibilizem internet gratuita nos carros, cujos equipamentos serão utilizados para registrar a quantidade de pessoas conectadas. Esses dados devem ser transmitidos para processamento em nuvem, que disponibilizará as informações ao aplicativo de celular do usuário. Todo esse fluxo utilizará equipamentos e aplicações já existentes e amplamente utilizados no mercado.

O usuário, dispondo de um dado confiável, pode alterar a dinâmica de utilização das dependências do metrô e arredores de grandes centros ou terminais.

Independentemente da disponibilidade do status de operações, ainda haverá o horário de pico bem delimitado, sempre de acordo com o horário de entrada e saída padrão das empresas. Por este motivo, é esperado que haja uma mudança no comportamento dos usuários quando precisarem utilizar os modais nestes horários.

Caso um usuário perceba que, se ele esperar por 10 a 20 minutos na estação, poderá pegar composições que não estejam lotadas, a tendência é que este dado mude significativamente o seu respectivo padrão de comportamento. Por exemplo, seria possível fazer um lanche na estação, acompanhar um show patrocinado, realizar compras de roupas ou eletrônicos. Portanto, a estação de metrô e os arredores seriam impactados positivamente por este tipo de solução.

Comercialmente, a estação de metrô e terminais urbanos serão valorizados com um grande potencial de exploração. Com a otimização do seu espaço, não serão somente garantias de grande circulação, mas haverá, também, a expectativa de que o consumidor terá tempo e estará inclinado a usufruir desse benefício. Isso aumenta

a atratividade para os espaços disponíveis, contribuindo para a rentabilidade do projeto.

A exploração positiva dos cadastros dos usuários irá contribuir diretamente para a rentabilidade do projeto. No app poderão ser adicionadas propagandas curtas após a consulta. Para a oferta de produtos e serviços, a segmentação do público-alvo do nosso projeto é preciosa. Portanto, devemos explorá-la em benefício do app e promover a melhora da performance do aplicativo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Fernando. **O Bom Negócio da Sustentabilidade**. 1a ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2002.

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Comissão especial de mobilidade urbana**: relatório final. Porto Alegre: Assembleia Legislativa do Estado do Rio Grande do Sul, 2013.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS. **A importância macroeconômica e socioeconômica do transporte público por ônibus no Brasil**. Série cadernos técnicos, v.27, mar. 2020. Disponível em: <http://files.antp.org.br/2020/8/24/caderno-tecnico-27--importancia-macroeconomica-e-socioambiental-do-transporte-publico.pdf>. Acesso em: 12 mar 2022.

BAZANI, Adamo. **Ônibus consegue aproveitar melhor até 22 vezes mais o espaço urbano em relação ao carro para realidade de São Paulo**, 2016. Disponível em: <https://diariodotransporte.com.br/2016/01/24/onibus-consegue-aproveitar-melhor-ate-22-vezes-mais-o-espaco-urbano-em-relacao-ao-carro-para-realidade-de-sao-paulo/>. Acesso em: 13 mar. 2022.

BRUNI, Adriano Leal; FAMÁ, Rubens; SIQUEIRA, José de Oliveira. **Análise do risco na avaliação de projetos de investimento**: Uma aplicação do método de Monte Carlo. São Paulo: Caderno de Pesquisas em Administração, v.1, nº6, 1o Trim./ 1998.

CARVALHO, Carlos Henrique Ribeiro. **Desafios da Mobilidade Urbana no Brasil**. Texto para discussão. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2016.

EBERT, Sebastian *et al.* **Caderno Técnico de Referência - Gestão do Sistema de Transporte Público Coletivo**, 2020. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSEMOB/Biblioteca/Caderno-Tecnico-de-Referencia-Gestao-do-Sistema-de-Transporte-Publico-Coletivo.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2022.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **City of São Paulo**. 2021. Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org/sao-paulo>. Acesso em: 24 mar de 2022.

GIL, Antônio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 2a ed. São Paulo: Atlas, 2010.

INNOVATIVE GOVERNANCE OF LARGE URBAN SYSTEMS. **Case study: Displaying real-time bus occupancy levels in Seoul, South Korea**. 2017. Disponível em: <https://iglus.org/case-study-displaying-real-time-bus-occupancy-levels-in-seoul-south-korea/>. Acesso em: 31 mai. 2022.

LEITE, Alex. **Internet das Coisas: a revolução industrial das máquinas**, 2016. Disponível em: <https://webinsider.com.br/internet-das-coisas-e-uma-nova-revolucao-industrial/>. Acesso em: 14 mar. 2022.

LOURENÇO, Juan. **Soluções para o trânsito: transporte público gratuito, a loucura que já existe**. São Paulo, 2013. Disponível em: <https://papodehomem.com.br/solucoes-para-o-transito-transporte-publico-gratuito-a-loucura-que-ja-existe/>. Acesso em: 13 mar. 2022.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 6a ed. São Paulo: Atlas, 2006.

MEIER, Ricardo. **ViaQuatro inova com informação sobre lotação dos trens da Linha 4**. Metrô CPTM, 2016. Disponível em: <https://www.metrocptm.com.br/viaquatro-inova-com-informacao-sobre-lotacao-dos-trens-da-linha-4/>. Acesso em: 29 mar. 2022

MEIRELLES, Alexandre Augusto de Castro. **Sistemas de Transportes Inteligentes: aplicação da telemática na gestão do trânsito urbano**. Revista iP: Prefeitura de Belo Horizonte. Belo Horizonte, 2010. Disponível em: http://pbh.gov.br/informaticapublica/ANO1_N1_PDF/ip0101meirelles.pdf. Acesso em: 17 agosto 2022.

MIYABUKURO, Everton. **Sistema de Monitoramento de Transporte Coletivo em tempo real via GPS para Smartphone**. Orientador: Francisco Adell Péricas. 68 f. TCC (Graduação). Curso de Ciência da Computação do Centro de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Regional de Blumenau. Blumenau, 2015. Disponível em: <http://www.inf.furb.br/~pericas/orientacoes/OnibusTempoReal2015.pdf>. Acesso em: 17 agosto 2022.

NOBRE, Lauro, 2015, **Desafio e soluções para a mobilidade urbana**, Caderno FGV Projetos, v.10, n.24.

OLHO VIVO: SISTEMA DE MONITORAMENTO DO TRANSPORTE. **Origem e destino**. SPtrans, 2022. Disponível em: <http://olhovivo.sptrans.com.br/#sp?cat=Mapa&l=2518&s=502J-23&sc=METR%C3%94%20CONCEI%C3%87%C3%83O&nc>. Acesso em: 13 mar. 2022.

OLIVEIRA, Gustavo Henrique Medeiros; SOUZA, Luan Scalón. **Plano de Viabilidade Econômica de um Aplicativo de Caronas Universitárias**. Orientador: Prof. Dr. Cassiano Moro. 65 f. TCC (Graduação). Curso de Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Paraná, 2019. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/16069/1/PG_DAENP_2019_1_17.pdf. Acesso em: 14 mar 2022.

PARADEDA, Diego B; KRAUS JUNIOR, Werner; CARLSON, Rodrigo C. **Estimativa de embarque e desembarque de passageiros por detecção de sinal de wi-fi de dispositivos móveis**. In: 32º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET. Gramado, 04 de novembro a 07 de novembro de 2018. Disponível em: https://www.anpet.org.br/anais32/documentos/2018/Gestao%20de%20Transportes/Sistemas%20Inteligentes%20Aplicados%20a%20Gestao%20de%20Transportes/1_719_AC.pdf. Acesso em: 12 mar 2022

PELEGI, Alexandre. **Transporte Público Urbano Mantém Queda de Demanda em Torno de 40% desde Agosto de 2020**. Diário do Transporte, 2021. Disponível em: <https://diariodotransporte.com.br/2021/03/24/transporte-publico-urbano-mantem-queda-de-demanda-em-torno-de-40-desde-agosto-de-2020/>. Acesso em: 24 mar 2022.

PEREIRA, Rafael H. M.; WARWAR, Lucas; PARGA, João; BAZZO, João; BRAGA, Carlos Kauê; HERSZENHUT, Daniel; SARAIVA, Marcus. **Tendências e desigualdades da mobilidade urbana no Brasil I: o uso do transporte coletivo e individual**. Texto para discussão 2673. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/porta/imagens/stories/PDFs/TDs/210803_td_2673.pdf. Acesso em: 12 mar. 2022.

PNDU - PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2022. Disponível em: <https://www.undp.org/pt/brazil/pnud-no-brasil>. Acesso em: 24 mar 2022.

REDE NOSSA SÃO PAULO/IBOPE INTELIGÊNCIA. **Viver em São Paulo: Mobilidade Urbana**. 2019. Disponível em: https://www.nossasaopaulo.org.br/wp-content/uploads/2019/09/Apresentacao_Pesquisa_ViverEmSP_MobilidadeUrbana_2019.pdf. Acesso em: 1 abr. 2022.

SOUSA, Ana Odila Paiva. **Projeto Demonstrativo de Estratégias de Gestão e Mobilidade Urbana em duas Cidades Médias Brasileiras**. Relatório de Ação Técnica: Otimização da rede. Sorocaba, 2013. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/imagens/stories/ArquivosSEMOB/ArquivosPDF/eficiencia/publicacoes/relatoriodeacao5otimizacaodarede.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2022.

URBS, Urbanização Curitiba S.A. **Exploração de Publicidade – Rodoviária de Curitiba**, 2017. Disponível em: <https://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/utilidades/projeto-publicidade>. Acesso em: 13 mar. 2022.

XIMENES, Natália Lacerda Bastos, 2016, **Morfologia urbana: teorias e suas inter-relações**. Orientadora: Gisele Silva Barbosa. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Programa de Engenharia Urbana, UFRJ. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://www.repositorio.poli.ufrj.br/dissertacoes/dissertpoli1604.pdf>. Acesso em: 31 maio 2022.