

AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO GOOGLE MAPS COMO FERRAMENTA DE PRÉ-ANÁLISE EM ESTUDOS DE TRÁFEGO: UM COMPARATIVO COM O SOFTWARE AIMSUN (MOBILIDADE URBANA E DIREITO À CIDADE)

Aline Cabral Terra

ITTI-UFPR | alinecabral70@gmail.com

Amanda Christine Gallucci Silva

ITTI-UFPR | amandagallucci82@gmail.com

Bruno de Sousa Gonzaga

ITTI-UPR | brunugonzaga@gmail.com

José Roberto Alves

Instituição | j.robertonalves@gmail.com

Luciano Wons

Instituição | luciano@wons.com.br

Sessão Temática VIII: Mobilidade Urbana e direito à cidade

Resumo: A simulação de tráfego é uma técnica com bom desempenho para análise do tráfego em diagnósticos de Planos de Mobilidade Urbana, porém, sua complexidade e custo dificultam o uso em cidades menores. Nesse contexto, ferramentas acessíveis e de baixo custo podem ser alternativas para análises preliminares e apoio ao planejamento urbano. O presente estudo avalia a viabilidade do Google Maps como ferramenta de pré-análise em estudos de tráfego, comparando-o ao *software* Aimsun e a observações de campo em Fazenda Rio Grande, Paraná. Os resultados mostram que o Google Maps, embora acessível e eficiente para diagnósticos iniciais, apresenta limitações em pontos críticos, como interseções semaforizadas, ao subestimar atrasos. Já o Aimsun demonstrou maior precisão, modelando variáveis como semáforos e capacidade viária. Apesar de discrepâncias, ambas as ferramentas são complementares: o Google Maps mostrou-se adequado em análises preliminares, enquanto o Aimsun se destaca em estudos aprofundados. A combinação dessas ferramentas pode otimizar diagnósticos e intervenções no planejamento urbano, contribuindo para cidades mais eficientes e sustentáveis.

Palavras-chave: Simulação de tráfego, Congestionamentos, Tempo de atraso, Google Maps, Plano de Mobilidade.

EVALUATION OF THE USE OF GOOGLE MAPS AS A PRE-ANALYSIS TOOL IN TRAFFIC STUDIES: A COMPARISON WITH AIMSUN SOFTWARE

Abstract: Traffic simulation is an effective technique for diagnostics in Urban Mobility Plans; however, its complexity and cost make it challenging to implement in smaller cities. In this context, accessible and low-cost tools may serve as alternatives for preliminary analyses and support in urban planning. This study assesses the feasibility of using Google Maps as a preliminary analysis tool in traffic studies, comparing it with the Aimsun software and field observations in Fazenda Rio Grande, Paraná. The results show that, while Google Maps is efficient for initial diagnostics, it presents limitations at critical points, such as signalized intersections, by underestimating delays. Aimsun, on the other hand, demonstrated greater accuracy, modeling variables like traffic lights and road capacity. Despite discrepancies, both tools are complementary: Google Maps is suitable for preliminary analyses, while Aimsun excels in in-depth studies. Their combination can optimize diagnostics and interventions in urban planning, contributing to more efficient and sustainable cities.

Keywords: Traffic simulation, Congestion, Delay time, Google Maps, Mobility Plan.

EVALUACIÓN DEL USO DE GOOGLE MAPS COMO HERRAMIENTA DE PREANÁLISIS EM ESTUDIOS DE TRÁFICO: UMA COMPARACIÓN COM EL SOFTWARE AIMSUN

Resumen: La simulación de tráfico es una técnica con buen desempeño para el análisis del tráfico en diagnósticos de Planes de Movilidad Urbana; sin embargo, su complejidad y costo dificultan su uso en ciudades más pequeñas. En este contexto, herramientas accesibles y de bajo costo pueden ser alternativas para análisis preliminares y apoyo en la planificación urbana. El presente estudio evalúa la viabilidad de Google Maps como herramienta de preanálisis en estudios de tráfico, comparándolo con el software Aimsun y observaciones de campo en Fazenda Rio Grande, Paraná. Los resultados muestran que Google Maps, aunque accesible y eficiente para diagnósticos iniciales, presenta limitaciones en puntos críticos, como intersecciones semaforizadas, al subestimar los retrasos. Por otro lado, Aimsun demostró mayor precisión, modelando variables como semáforos y capacidad vial. A pesar de las discrepancias, ambas herramientas son complementarias: Google Maps resultó adecuado para análisis preliminares, mientras que Aimsun se destaca en estudios más detallados. La combinación de estas herramientas puede optimizar diagnósticos e intervenciones en la planificación urbana, contribuyendo a ciudades más eficientes y sostenibles.

Palabras clave: Simulación de tráfico, Congestión; Tiempo de demora, Google Maps; Plan de Movilidad.

INTRODUÇÃO

O Plano de Mobilidade Urbana (PMU) tornou-se o principal instrumento para a implementação da Política Nacional de Mobilidade Urbana (Brasil, 2012). Em conformidade com essa diretriz, municípios com mais de 20 mil habitantes estão obrigados a elaborar o PMU como condição para acessar recursos federais destinados a projetos de mobilidade. Além de integrar-se ao Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (Brasil, 2012), o PMU deve apresentar ações que viabilizem o alcance de objetivos e metas voltadas à resolução de problemas e atendimento das necessidades da população, identificadas por meio de diagnósticos e da participação dos atores sociais (Oliveira, 2012). O plano também deve estabelecer prazos, fontes de financiamento e indicadores para monitoramento das ações propostas (Machado e Piccini, 2018).

Apesar do suporte técnico disponibilizado pelo Ministério das Cidades (MC), a elaboração do PMU demanda uma especialização que a maioria dos técnicos municipais em cidades de pequeno e médio porte não possui, resultando em baixa adesão por parte desses municípios. Até 2023, apenas 20% das cidades brasileiras haviam concluído seus planos. Entre os municípios que cumpriram a exigência, 75% são capitais, evidenciando a dificuldade enfrentada por cidades com menor estrutura técnica, financeira e tecnológica (Brasil, 2024b). Muitos municípios recorreram a serviços de consultoria, pois não apresentam corpo técnico suficiente ou suficientemente capacitado para elaboração de documento tão complexo. Mesmo com auxílio das consultorias, muitos Planos apresentam abordagem superficiais sobre as necessidades municipais (Böhler-Baedeker et al., 2014).

Em resposta a esses desafios, o Ministério das Cidades publicou, em 2007, um guia de orientações para a elaboração dos PMUs, posteriormente revisado e ampliado no Guia PlanMob de 2015 (Brasil, 2015). O documento propõe uma metodologia estruturada em seis etapas principais: (i) diagnóstico da situação atual; (ii) definição de objetivos e metas; (iii) elaboração de cenários; (iv) planejamento de medidas e ações; (v) identificação de custos e responsabilidades; e (vi) monitoramento e comunicação.

Segundo WRI Brasil (2018), o diagnóstico é uma etapa crucial, pois direciona as ações às demandas específicas de cada município. Essa etapa envolve custos consideráveis, principalmente devido à necessidade de bases de dados confiáveis que abarque aspectos diversos da mobilidade urbana. Essas bases incluem informações provenientes de fontes primárias, como pesquisas de campo, e secundárias, como documentos e literatura especializada.

Entre os elementos analisados nos diagnósticos, o trânsito é um dos principais conflitos a serem abordados, uma vez que o transporte motorizado é o que mais contribui para os ônus e benefícios urbanos, conforme a Política Nacional de Mobilidade Urbana (Brasil, 2012). Problemas como sinistros de trânsito, congestionamentos, poluição e ruídos são frequentemente avaliados utilizando ferramentas como contagens de tráfego, análises estatísticas e modelagens matemáticas. Nesse contexto, a Teoria do Fluxo de Tráfego é

amplamente empregada para descrever fenômenos viários, analisando variáveis como densidade, velocidade, fluxo e capacidade em três níveis: macroscópico, microscópico e mesoscópico (Fabianova et al, 2020).

A simulação de tráfego consiste numa técnica para representação numérica de sistemas viários em computadores, é útil em sistemas complexos e conhecidos. Contudo, sua aplicação demanda recursos técnicos e financeiros que nem sempre estão disponíveis às equipes municipais, especialmente em municípios de pequeno e médio porte. Nesse cenário, ferramentas de baixo custo e fácil acesso tornam-se alternativas promissoras para análises preliminares (Pell, Meingast e Schauer, 2017).

Diante disso, este estudo explora o uso da ferramenta de tráfego do Google Maps como uma solução prática e acessível para auxiliar no diagnóstico e planejamento de mobilidade urbana em contextos de recursos limitados. Para tanto, o estudo buscou identificar pontos críticos de trânsito, por meio da comparação entre os dados fornecidos pela plataforma Google Maps, os resultados de simulações de trânsito e a situação real observada.

REFERENCIAL TEÓRICO

ESTUDOS DE TRÁFEGO

O estudo de tráfego visa compreender o fluxo de veículos em uma via ao longo de um período específico, considerando também o comportamento de pedestres, ciclistas e motoristas (Kureke; Bernardis, 2021). Assim, permite avaliar a capacidade da via e propor melhorias para sua adequação. Segundo o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006), as principais características do tráfego são o volume, a velocidade e a densidade. O volume refere-se ao número de veículos que circulam em uma via dentro de um intervalo de tempo determinado, e pode ser analisado por hora, dia, semana, mês ou ano. A velocidade é a relação entre a distância percorrida e o tempo gasto, geralmente medida em km/h, podendo ser analisada de diferentes formas, como a velocidade instantânea ou média. Já a densidade é a quantidade de veículos por unidade de comprimento da via, refletindo a relação entre volume e velocidade, e ajudando a definir a manobrabilidade da via.

As contagens volumétricas e as pesquisas de origem e destino são ferramentas essenciais para entender os padrões de movimentação dentro de uma cidade e suas conexões com áreas externas (Cruz, 2021). De acordo com o Manual de Estudos de Tráfego, essas pesquisas revelam as zonas de origem e destino dos veículos, permitindo o planejamento das linhas de desejo de passageiros e mercadorias. Essas informações, aliadas ao estudo do tráfego atual, são fundamentais para prever as necessidades de circulação futuras, contribuindo para o planejamento da infraestrutura viária (DNIT, 2006).

Para um estudo de tráfego detalhado, é necessário delimitar uma área geográfica que inclua os objetos de estudo e as áreas com influência direta ou indireta sobre esses objetos.

A análise deve identificar pontos de origem e destino, as rotas utilizadas e os pontos críticos em cada uma delas (Portugal, 2017). A contagem volumétrica registra o fluxo de tráfego em números, com a análise realizada em interseções ou trechos específicos da via. Já as pesquisas de origem e destino buscam determinar as origens e destinos das viagens, fornecendo dados essenciais para identificar problemas e soluções no sistema viário (Kureke; Bernardinis, 2021).

A contagem volumétrica tem como objetivo quantificar os fluxos de tráfego em pontos específicos da malha viária, seja nas interseções, analisando as direções de tráfego, ou entre as interseções, estudando o fluxo em trechos de via. Já as pesquisas de origem e destino buscam identificar os pontos de origem e destino das viagens dentro da região, fornecendo dados para diagnosticar problemas e sugerir soluções, com base em uma amostragem representativa da realidade local e dos usuários (Cruz, 2021; Dornelas, 2024).

Com essas informações, é possível realizar análises utilizando *softwares* de simulação, tanto em nível macro quanto micro. Nos últimos anos, a evolução e modernização desses programas aumentaram sua eficácia, tornando-os ferramentas essenciais na elaboração de estudos de tráfego e na previsão de cenários futuros. O objetivo desses estudos, que combinam contagens, pesquisas e simulações, é criar cenários realistas, identificando intervenções necessárias para atender ao crescimento populacional, econômico e ao desenvolvimento regional, garantindo soluções adequadas para o futuro (Liu et al., 2020).

O *software* utilizado para a realização das simulações de tráfego para a elaboração do Plano de Mobilidade Urbana de Fazenda Rio Grande foi o Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-Urban Networks (AIMSUN), “plataforma de modelagem que simula mobilidade em redes de todos os tamanhos, [...] modelando tráfego, ciclistas, pedestres e transporte público em um único pacote” (Aimsun, 2024a, tradução nossa). O comportamento dos veículos no Aimsun é baseado nos modelos “Car-Following” e Lane-Changing”, os motoristas tendem a viajar na velocidade desejada em cada seção, mas o ambiente (ou seja, o veículo anterior, veículos adjacentes, semáforos, placas, bloqueios, etc.) condicionam seu comportamento.

O modelo de “car-following” implementado no Aimsun Next é baseado no modelo de Gipps (Gipps 1981 e 1986b). Ele foi desenvolvido incluindo parâmetros de modelo que não são globais, mas determinados pela influência de parâmetros locais dependendo do “tipo de motorista” (aceitação do limite de velocidade do veículo), a geometria da seção (limite de velocidade na seção, limites de velocidade em curvas, etc.), a influência de veículos em faixas adjacentes, etc. (Aimsun, 2024b, tradução nossa)

Já no “modelo lane-changing a mudança de faixa ocorre, geralmente, de forma obrigatória nos seguintes casos: presença de obstáculos, realização de movimentos de conversão e ultrapassagem” (Ayala e Jacques, 2012). Na prática, o modelo verifica se o veículo precisa mudar de faixa, por exemplo, se este está na faixa mais à esquerda e precisa sair da seção. Se necessário, o modelo calcula como e quando a mudança pode ser feita com

segurança e após a mudança (ou caso ela não seja necessária), o modelo de seguimento de veículos ajusta o comportamento do veículo ao novo ambiente.

De acordo com Dowling, Skabardonis e Alexiadis (2004), após a definição do objetivo, escopo e abordagem do estudo, e a coleta e preparação dos dados, se inicia o processo de desenvolvimento da rede que será objeto de estudo, processo que pode ocorrer manualmente ou através da importação de dados geográficos disponíveis *online*, como do *Open Street Map*. É nesse processo onde ocorre a atribuição de parâmetros para as seções como número de faixas, velocidade e prioridade nos cruzamentos e onde são inseridos os dados coletados em campo no simulador.

Posteriormente, é preciso calibrar o modelo, os parâmetros básicos dos programas computacionais apresentam valores derivados das características de tráfego próprias do local onde esses programas foram desenvolvidos ou que representam condições genéricas definidas pelos programadores, são os chamados valores defaults (Ayala e Jacques, 2012), dessa forma, a calibração implica um determinado ajuste dos valores dos diferentes parâmetros que influenciam diretamente nos resultados da simulação. Com a calibração, é preciso validar os resultados obtidos, ainda de acordo com Dowling, Skabardonis e Alexiadis:

Validação é o processo em que se verifica o desempenho geral do tráfego previsto pelo modelo para um sistema de ruas e/ou estradas em relação às medições em campo do desempenho do tráfego, como volumes de tráfego, tempos de viagem, velocidades médias e atrasos médios. (Dowling, Skabardonis e Alexiadis, 2004, tradução nossa).

No caso do modelo utilizado, foram definidos os parâmetros das vias, porém os valores derivados das características de tráfego utilizados foram os *defaultus* próprios no Aimsun, pois os resultados obtidos na validação estão de acordo com os observados em campo.

FERRAMENTAS DE ANÁLISE

O tempo de atraso é parâmetro utilizado para comparar os resultados obtidos com os fornecidos pelo *Google Maps*. Ele é calculado pela diferença entre o tempo real e o tempo ideal que um veículo leva para percorrer uma seção da rede. O tempo real considera fatores como congestionamentos, paradas em semáforos, interseções não preferenciais e reduções de velocidade devido a interações com outros veículos. Já o tempo ideal é o percurso livre de obstáculos, calculado pela velocidade permitida em cada seção. Dessa forma, temos:

$$TA = TR - TI$$

Onde:

TA: Tempo de atraso (segundos);

TR: Tempo real (segundos);

TI: Tempo Ideal (segundos).

O Aimsun apresenta os valores de tempo de atraso em tempo de atraso por veículo por quilômetro (s/km) e “é calculado como a média de todos os veículos e depois convertido em tempo por quilômetro, não incluindo o tempo gasto em fila virtual” (Aimsun, 2024b, tradução nossa). Uma das vantagens propiciadas pelo Aimsun, é que ele possibilita a simulação dinâmica de tráfego, ou seja, “enquanto a simulação estática realiza os cálculos de atraso sobre um volume total de tráfego em determinado intervalo de tempo, a simulação dinâmica considera a evolução dos veículos em seus trajetos a cada intervalo de tempo (décimo de segundo, por exemplo)” (FRATAR, 2024). Desta forma, o modelo de simulação se torna capaz de representar a influência de determinada condição de tráfego (congestionamentos, por exemplo) tanto sobre os trechos adjacentes, quanto da rede de tráfego como um todo.

Já o Google Maps é uma plataforma de mapeamento *online* que surgiu em 2005 (Google, 2024). A plataforma permite ao usuário verificar pontos de interesse, como equipamentos urbanos, locais de comércio, turismo e saúde. Ainda, é possível observar estes pontos em 360 graus por meio da opção *StreetView*. Uma outra função do Google Maps é fornecer ao usuário uma rota otimizada entre sua localização atual e um ponto de destino escolhido no mapa. Desse modo, a plataforma oferece um mapa com previsões de tráfego em tempo real e por trânsito típico de regiões observadas.

Para que o *software* possa calcular uma rota, são utilizados algoritmos de caminho mais curto em combinação com dados dos usuários. A empresa não apresenta o método exato de como a rota é criada, porém existem três algoritmos amplamente discutidos e utilizados para solucionar este tipo de demanda: o algoritmo de Dijkstra, o algoritmo *A-star* e as hierarquias de contração (tradução livre de *contraction hierarchies*) (Urquhart, 2022).

O algoritmo de Dijkstra foi desenvolvido em 1959 por Edsger W. Dijkstra. Ele funciona nomeando vértices em uma malha e atrelando um valor às linhas de conexão destes vértices. Os vértices e linhas podem representar locais e vias, respectivamente. O valor da linha corresponde à distância entre os dois vértices ligados. Desse modo, o algoritmo pode calcular a menor distância entre quaisquer dois pontos dentro da malha. Por explorar todas as distâncias dentro da malha, este algoritmo é pouco eficiente e demanda grande necessidade de processamento de dados (Zhang; Zhao, 2014).

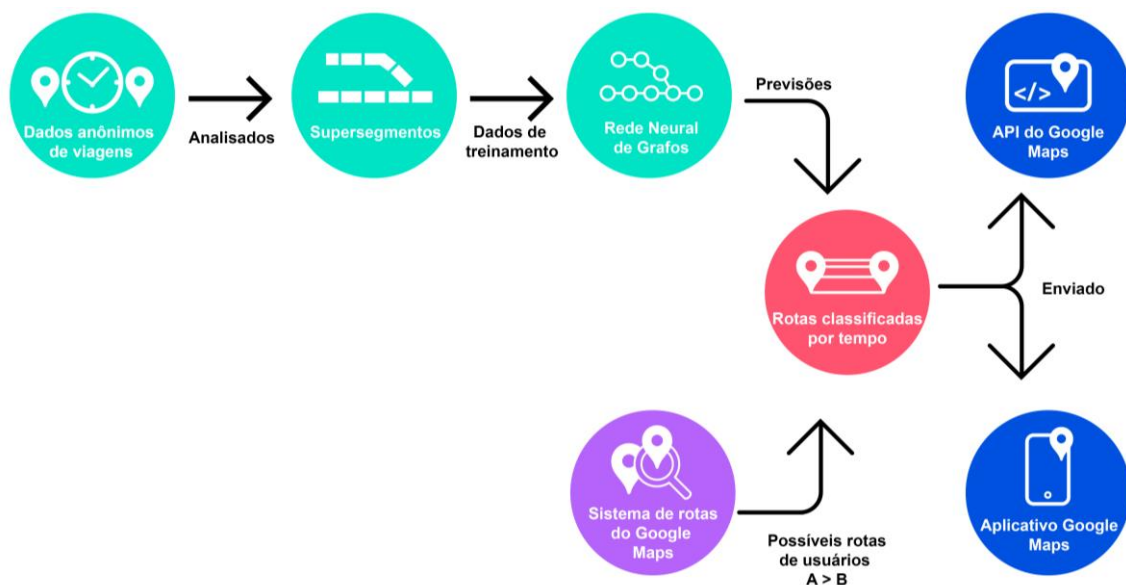
O algoritmo *A-star* foi criado com base no algoritmo de Dijkstra, mas com modificações que o tornam mais eficiente. Este algoritmo, assim como o Dijkstra, usa de uma malha com vértices e linhas, porém calcula, ainda, o custo para se mover entre um vértice e outro, bem como a distância faltante para o vértice final. Com estes dados, o algoritmo consegue determinar a menor distância entre dois vértices sem precisar verificar todos os possíveis caminhos (Candra; Budiman; Hartanto, 2020).

As hierarquias de contração também são baseadas no algoritmo de Dijkstra. Este método consiste em previamente fornecer uma hierarquia para os vértices da malha, criando, assim, a possibilidade de se descartar vértices baseados na importância da hierarquia definida

ao determinar uma rota. Por exemplo, se o usuário escolher uma rota entre duas cidades o algoritmo prioriza vértices de rodovias, descartando da análise vértices que passam por ruas locais (Geisberger *et al*, 2008). Os dados dos usuários, segundo a Google, são coletados anonimamente de pessoas que possuem smartphones e incluem a localização GPS, detalhes de navegação, o caminho que o usuário fez e dados de sensores do dispositivo, como o barômetro (Google, 2024).

As redes neurais para o Google Maps utilizam de aprendizado de máquina para estimar o tráfego que o usuário irá enfrentar em sua rota. São usados os dados em tempo real coletados dos usuários em conjunto com dados históricos de padrões de tráfego e com dados de órgãos governamentais e operadores de tráfego. As vias são segmentadas em supersegmentos, compostas por segmentos que compartilham elevado tráfego. Por fim, os tempos estimados de chegada são classificados de acordo com a rota, para que a rede se possa verificar a eficiência da rota fornecida pela plataforma e corrigir rotas futuras (Google, 2020). A Figura 1 mostra a arquitetura do modelo para determinação de rotas ideais e seus tempos de viagem.

Figura 1: Arquitetura do modelo para determinação de rotas ideais e seus tempos de viagem do Google Maps



Fonte: adaptado de Google, 2020, tradução nossa.

O Google Maps mostra a previsão do tráfego por meio de cores, sendo elas verde, amarelo, vermelho, vermelho escuro e cinza. Apesar de a empresa não especificar com exatidão como as cores são definidas, sabe-se que as cores representam o fluxo do tráfego na via, conforme o quadro abaixo:

Quadro 1: Representação das cores do Google Maps

Cor	Representação
Verde	Velocidade normal. Não há atrasos ao utilizar a via
Amarelo	Tráfego médio. Pode haver atraso no tempo de trajeto ao utilizar a via.
Vermelho	Sinaliza alto volume de tráfego. Haverá atraso no tempo de trajeto ao utilizar a via. A intensidade da cor vermelha indica lentidão.
Vermelho escuro	
Cinza	Não há informações disponíveis para o trecho.

Fonte: Adaptado de Google, 2024.

ESTUDOS DE CASO

CONTEXTO LOCAL

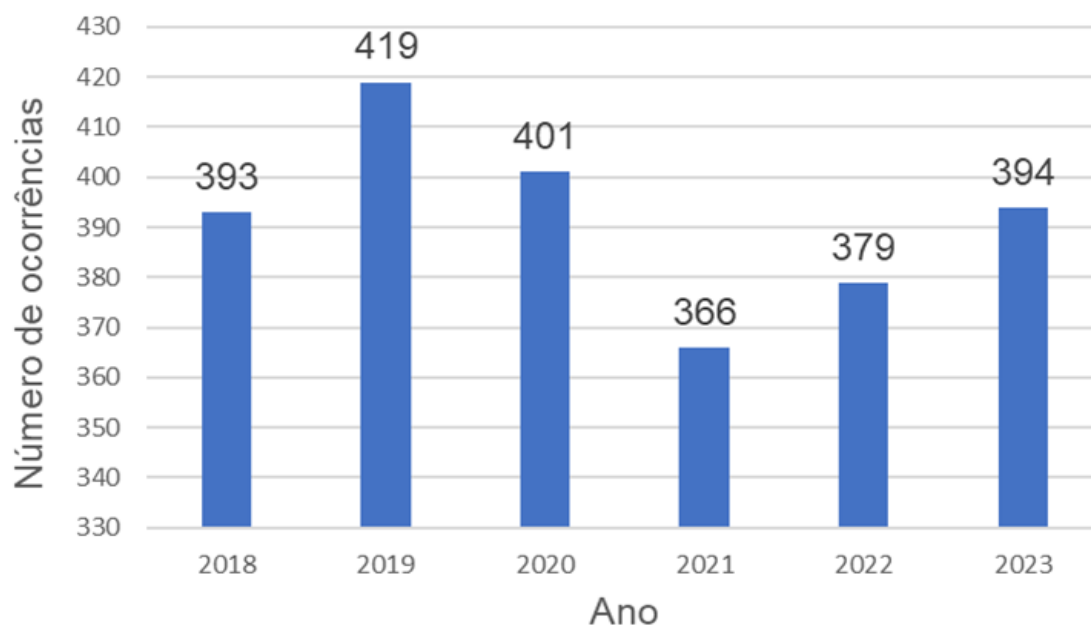
A cidade selecionada para o estudo de caso é Fazenda Rio Grande, situada na Região Metropolitana de Curitiba. Trata-se de um município de relativamente recente constituição, com 33 anos de existência, e, conforme estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para o ano de 2024, sua população é de 161.506 habitantes. Ao longo dos últimos 12 anos, o município experimentou um crescimento populacional superior a 80%, posicionando-se como o segundo município brasileiro com o maior incremento populacional nesse período, o que resultou em um desenvolvimento acelerado e em evidentes lacunas no planejamento urbano.

A Rodovia Régis Bittencourt (BR-116), uma das principais vias de transporte do país, atravessa o município de Fazenda Rio Grande, dividindo-o em duas grandes regiões: uma localizada a leste e outra a oeste. Este fator, somado à proximidade com a capital, Curitiba, contribui para um intenso tráfego de veículos, tanto pesados quanto de passeio, além de gerar um fluxo pendular significativo entre os dois municípios.

Atualmente, o município de Fazenda Rio Grande encontra-se em processo de revisão de seu Plano de Mobilidade Urbana. Por meio dos dados coletados pela empresa contratada para a fase de levantamento e diagnóstico, foi possível identificar informações relevantes sobre a evolução do tráfego na cidade. A taxa de crescimento veicular foi de 5,46%, calculada com base na média das taxas registradas entre os anos de 2018 e 2022. A taxa de motorização, por sua vez, obteve o valor de 0,56, utilizando a mesma metodologia (GEPLAN, 2024).

Outro levantamento significativo refere-se à análise do tráfego e aos registros de sinistros de trânsito, com base nas ocorrências atendidas pelo Serviço Integrado de Atendimento ao Trauma em Emergência (SIATE). Os dados abrangem o período de 2018 a 2023, totalizando 2.351 ocorrências. A maioria dos incidentes registrados na Rodovia Régis Bittencourt é atendida pela Polícia Rodoviária Federal, contudo, as informações analisadas indicam que o SIATE foi o responsável pelo atendimento em grande parte dos casos. Na Figura 2 temos os números de ocorrências por ano no município pela SIATE.

Figura 2: Ocorrências de trânsito por ano em Fazenda Rio Grande



Fonte: GEPLAN, 2024, elaborado com dados do SIATE, 2024.

O Plano de Mobilidade Urbana de Fazenda Rio Grande identificou uma deficiência significativa nas conexões viárias entre as duas regiões do município, separadas pela Rodovia Régis Bittencourt. Essa lacuna nas interligações resulta em um número reduzido de opções para deslocamento entre as áreas, agravando o tráfego local. Além disso, as vias principais e as rotatórias apresentam elevados índices de sobrecarga, o que tem gerado congestionamentos frequentes e um aumento na ocorrência de sinistros de trânsito (GEPLAN, 2024).

Para compreender melhor o fluxo de veículos, o estudo conduziu a contagem de tráfego em 44 pontos estratégicos da cidade. Com base nos dados obtidos, foi possível realizar uma simulação de tráfego utilizando o *software* Aimsun, ferramenta especializada que permitiu modelar o comportamento do tráfego e identificar as principais áreas de congestionamento e pontos críticos para a mobilidade urbana.

Na subseção seguinte são apresentadas as comparações entre as performances obtidas por meio da utilização do *software* Aimsun e do trânsito típico do Google Maps, realizando um paralelo com a realidade do trânsito local, obtida por inspeção em campo. As inspeções foram realizadas no mesmo horário e dia das contagens e registradas em fotografias. As regiões escolhidas para a análise são correspondentes a alguns pontos críticos identificados durante a etapa de diagnóstico do PMU e a análise tem por objetivo identificar se os resultados tanto do *software* de simulação quanto no Google Maps identificam os locais como pontos críticos.

ANÁLISES DE TRÁFEGO

Como mencionado anteriormente, o município de Fazenda Rio Grande é dividido pela Rodovia Régis Bittencourt (BR-116), e as travessias entre as porções leste e oeste são

limitadas. Esses pontos de cruzamento configuram gargalos de tráfego, representando algumas das áreas mais críticas da cidade, onde se concentra a maior parte dos congestionamentos. Isso ocorre tanto para os motoristas que trafegam pela rodovia e necessitam acessar o município, quanto para aqueles que buscam atravessar a via.

Diante desse cenário, foram selecionadas quatro áreas específicas para análise, todas situadas em pontos de travessia da Rodovia Régis Bittencourt (BR-116). Essas regiões foram identificadas como as mais impactadas pelo fluxo intenso de veículos e pela limitação das opções de deslocamento entre os lados leste e oeste da cidade, conforme ilustrado no mapa apresentado na Figura 3.

Figura 3: Localização das regiões estudadas em Fazenda Rio Grande



REGIÃO 1: AV. DAS AMÉRICAS X ROD. RÉGIS BITTENCOURT (BR-116) X AV. CARLOS EDUARDO NICHELE

A Região 1 é composta pela primeira interseção em Fazenda Rio Grande da Rodovia Régis Bittencourt (BR-116) no sentido de norte para sul. Essa interseção compreende a transposição da rodovia através da ligação de suas marginais, a Av. das Américas e Av. Carlos Eduardo Nichele. É um cruzamento semaforizado constituído por dois conjuntos semafóricos, os quais atuam em dois tempos. O primeiro estado controla o fluxo da rodovia, enquanto que o segundo regula os veículos na Av. das Américas. A análise desta interseção compreendeu a comparação do tráfego do Google Maps com os resultados da simulação com o *software* Aimsun para as vias Rodovia Régis Bittencourt (BR-116), Av. das Américas e Av. Carlos Eduardo Nichele, conforme Figura 4. A figura mostra, ainda, a condição do tráfego no dia de contagem.

Figura 4: Comparação entre os resultados obtidos no Google Maps, no software Aimsun e a situação real para a Região 1



Fonte: Os autores.

A comparação entre o trânsito típico indicado no Google Maps e os resultados da simulação de tráfego revelou discrepâncias significativas em relação ao comportamento do tráfego em determinados pontos da cidade. No caso da Avenida das Américas, o Google Maps não indicou nenhum tipo de atraso, apresentando coloração verde ao longo de toda a via. Por outro lado, a simulação de tráfego demonstrou um cenário diferente: a via foi representada em vermelho no sentido norte, indicando congestionamento, enquanto no sentido sul, a coloração foi amarela, sugerindo um fluxo moderado com pequenos atrasos.

Quanto à Rodovia Régis Bittencourt (BR-116), a análise revelou mais semelhanças do que diferenças entre as duas fontes de dados. Para o trecho no sentido norte, tanto no Google Maps quanto na simulação de tráfego, a área antes do semáforo foi representada em amarelo, o que indica fluxo moderado e pequenos atrasos em ambas as análises. Após o semáforo, no entanto, ambas as fontes apresentaram a coloração verde, sinalizando fluxo normal e sem atrasos.

Por outro lado, para o sentido sul da rodovia, as discrepâncias foram mais evidentes. Antes do semáforo, o Google Maps indicou coloração amarela, enquanto a simulação de tráfego apresentou laranja, sugerindo um fluxo mais intenso e maiores atrasos do que o indicado pelo Google Maps. Após o semáforo, o Google Maps mostrou coloração verde, indicando fluxo normal, enquanto a simulação manteve a coloração laranja, novamente sugerindo congestionamento e atrasos consideráveis.

Essas diferenças indicam que, enquanto o Google Maps fornece uma visão em tempo real do tráfego com base em dados de usuários, a simulação de tráfego modela o comportamento do fluxo de veículos de maneira mais detalhada, levando em consideração variáveis que podem não ser plenamente captadas pelos dados em tempo real, como a capacidade da infraestrutura viária e a dinâmica do tráfego em diferentes horários.

Em relação à Avenida Carlos Eduardo Nichele, tanto o Google Maps quanto a simulação de tráfego indicaram coloração verde, sinalizando que o fluxo de veículos era normal e sem grandes atrasos nesse trecho. Porém, ao analisar os pequenos trechos de vias que compõem a transposição da Rodovia Régis Bittencourt, que não são nomeados e funcionam como acessos, foram observadas discrepâncias significativas entre as duas fontes de dados.

Para o acesso entre a Avenida das Américas e a rodovia, o Google Maps apresentou coloração verde, sugerindo fluxo normal e sem atrasos. Em contrapartida, a simulação de tráfego indicou coloração vermelho-escuro, refletindo um fluxo muito intenso e grandes atrasos. No acesso da rodovia para a Avenida Carlos Eduardo Nichele, o Google Maps marcou coloração amarela, indicando fluxo moderado e pequenos atrasos, enquanto a simulação de tráfego apresentou coloração alaranjada, sugerindo um fluxo mais intenso e maiores atrasos em relação à avaliação do Google Maps.

Essas divergências destacam a região como um ponto crítico na rede viária de Fazenda Rio Grande, conforme identificado pela simulação de tráfego, enquanto o Google Maps não apontou a mesma severidade em termos de congestionamentos e atrasos. Essa discrepância pode ser explicada pela diferença nos métodos utilizados pelas duas ferramentas. O Google Maps, por utilizar séries históricas, algoritmos de rotas mais curtas e dados de usuários em tempo real, pode apresentar uma visão otimizada do tráfego, especialmente em trechos que frequentemente apresentam fluxo mais lento, como é o caso de interseções semaforizadas. Essas interseções podem aparecer com coloração verde no Google Maps, mesmo em horários de maior fluxo, dado o padrão histórico de tráfego naquela área.

Por outro lado, a simulação de tráfego considera apenas os dados alimentados diretamente no *software*, sem levar em conta o histórico de comportamento do tráfego. Como resultado, a simulação tende a refletir de maneira mais precisa os atrasos potenciais causados por fatores como a presença de semáforos, que, independentemente do histórico de fluxo, sempre são modelados como geradores de atrasos. Isso pode fazer com que a simulação de tráfego identifique condições de congestionamento mais graves do que aquelas reportadas pelo Google Maps, especialmente em locais com interseções semaforizadas ou outros pontos de estrangulamento.

REGIÃO 2: AV. DAS AMÉRICAS X RUA JATOBÁ X ROD. RÉGIS BITTENCOURT (BR-116) X AV. CARLOS EDUARDO NICHELE

A interseção da Região 2 consiste no encontro da Rodovia Régis Bittencourt (BR-116) com as suas vias marginais, Av. das Américas e Av. Carlos Eduardo Nichele, por meio da Rua Jatobá. Esse cruzamento possui três conjuntos semafóricos para controlar o tráfego dos veículos, com três estados de funcionamento. O primeiro estado controla a rodovia juntamente com a Rua Jatobá, o segundo a Av. das Américas e o último é responsável pela Av. Carlos Eduardo Nichele. A Figura 5 mostra a representação da interseção segundo o Google Maps, a simulação do Aimsun e as imagens do tráfego no horário de contagem.

Figura 5: Comparação entre os resultados obtidos no Google Maps, no *software* Aimsun e a situação real para a Região 2



Régis Bittencourt (BR-116), onde, quando o semáforo está fechado, uma fila se forma rapidamente, mas esse tempo de espera não é refletido no Google Maps, que continua a indicar condições de tráfego favoráveis.

Além disso, ao comparar os resultados do Google Maps com os do *software* Aimsun, observam-se divergências significativas nos dados. O Aimsun aponta que a alça de acesso da Avenida Carlos Eduardo Nichele apresenta um tempo de atraso elevado, sugerindo congestionamento, enquanto o Google Maps registra apenas um leve atraso. Essa disparidade pode ser explicada pelas diferenças nos métodos de coleta e análise de dados utilizados pelas duas ferramentas. O Aimsun modela o tráfego de forma mais detalhada, considerando fatores como a capacidade das vias, a semaforização e o comportamento do fluxo de veículos em tempo real, o que pode resultar em uma representação mais precisa do impacto dos semáforos e do congestionamento. Já o Google Maps, por sua vez, depende principalmente de dados históricos e em tempo real provenientes dos usuários, podendo não capturar de maneira completa os efeitos locais imediatos, como o impacto das filas geradas pela semaforização.

REGIÃO 3: AV. CARLOS EDUARDO NICHELE X AV. CÉSAR CARELLI E AV. DAS AMÉRICAS X AV. DAS ARAUCÁRIAS

A Região 3, assim como as demais interseções analisadas, representa uma das poucas conexões viárias entre as porções leste e oeste do município de Fazenda Rio Grande. No entanto, neste caso específico, o acesso entre essas áreas é facilitado por um viaduto que eleva a Rodovia Régis Bittencourt (BR-116), conectando a Avenida César Carelli à Avenida das Araucárias. A Figura 6 ilustra as duas interseções analisadas: o cruzamento das vias marginais da rodovia com a Avenida César Carelli, que se converte na Avenida das Araucárias, juntamente com os tempos de atraso fornecidos pelo Google Maps e os resultados obtidos nas simulações de tráfego. A análise foi crucial para entender as dinâmicas de fluxo de tráfego e os pontos críticos de congestionamento na região de transposição da rodovia, destacando as possíveis discrepâncias entre as estimativas do Google Maps e as condições reais observadas por meio das simulações de tráfego.

Figura 6: Comparação entre os resultados obtidos no Google Maps, no *software* Aimsun e a situação real para a Região 3



Fonte: Os autores.

Ao analisar os resultados obtidos na simulação de tráfego, foi possível observar que estes se assemelham de forma significativa com o que foi registrado em campo. O congestionamento na Avenida das Américas, onde os veículos aguardam para acessar a rotatória e atravessar para a porção oeste do município pela Avenida César Carelli, é causado, principalmente, pelos veículos que seguem no sentido oposto — da porção oeste para a leste — pela Avenida Carlos Eduardo Nichele. Embora a Avenida Carlos Eduardo Nichele também esteja carregada, os veículos circulam em fluxo contínuo, o que resulta em tempos de atraso menores em comparação com a Avenida das Américas. Tempos de atraso mais elevados também foram observados na Rua Francisco Claudino dos Santos, que dá acesso à Avenida Carlos Eduardo Nichele, bem como na Avenida das Araucárias, sendo essas as principais vias de entrada para a rotatória.

Os dados fornecidos pelo Google Maps foram, em grande parte, compatíveis com a realidade observada, indicando que os maiores tempos de atraso ocorrem para os veículos que precisam acessar a rotatória, nas Avenidas das Américas, Avenida das Araucárias e na Rua Francisco Claudino dos Santos. Além disso, o Google Maps também indicou um tráfego médio nas vias que dão acesso à rotatória, como a Rua Ephigênio Pereira da Cruz e a Rua Manoel Claudino Barbosa.

Quando comparados os resultados do Google Maps com os do Aimsun, foi possível observar que, de modo geral, ambas as plataformas identificam corretamente as vias com maior tempo de atraso, embora haja diferenças em relação à intensidade desses atrasos. Por

exemplo, na Avenida das Araucárias, a simulação de tráfego indicou pouco tempo de atraso, enquanto o Google Maps apontou tempos de atraso mais elevados e uma lentidão significativa. Em contrapartida, nas vias de acesso à Rua Francisco Ferreira da Cruz, os resultados foram opostos: a simulação de tráfego apresentou atrasos mais expressivos do que os registrados no Google Maps.

Essas divergências podem ser atribuídas às diferentes metodologias de coleta e análise de dados entre as duas ferramentas. O Google Maps baseia-se em dados em tempo real provenientes de usuários e séries históricas, o que pode suavizar os impactos momentâneos de congestionamentos, especialmente em horários de pico. Já o Aimsun realiza uma simulação baseada em modelos computacionais, considerando variáveis como semáforos, capacidade das vias e comportamento do tráfego, o que resulta em uma visão mais detalhada e precisa do fluxo de veículos em determinadas condições.

REGIÃO 4: AV. NOSSA SENHORA APARECIDA X AV. CARLOS EDUARDO NICHELE E AV. DAS AMÉRICAS X RUA ITÁLIA

A Região 4, última área analisada, representa a penúltima conexão viária entre as porções leste e oeste do município. Trata-se de um ponto de grande congestionamento, especialmente durante os horários de pico, devido ao encontro de duas avenidas principais que convergem neste local. O acesso entre as regiões ocorre por baixo de um viaduto que eleva a Rodovia Régis Bittencourt (BR-116), conectando a Avenida Nossa Senhora Aparecida à Rua Itália. Além disso, o local conta com duas rótulas em ambos os lados da rodovia, que facilitam o fluxo de veículos nas direções desejadas.

A Figura 7 ilustra as duas interseções analisadas: o cruzamento da Avenida Carlos Eduardo Nichele com a Avenida Nossa Senhora Aparecida, que, após o viaduto, se converte na Rua Itália, além das duas rótulas localizadas nas proximidades. A Figura também exibe os tempos de atraso fornecidos pelo Google Maps, bem como os resultados das simulações de tráfego realizadas. A análise dessa região é crucial para compreender as dinâmicas de congestionamento e os impactos das rótulas e do viaduto na fluidez do tráfego entre as áreas leste e oeste da cidade.

Figura 7: Comparação entre os resultados obtidos no Google Maps, no software Aimsun e a situação real para a Região 4



Fonte: Os autores.

Ao analisar os resultados obtidos nos cenários da simulação de tráfego, observa-se uma semelhança significativa com as imagens realizadas na Região 4. No primeiro ponto de congestionamento, localizado na rótula que une a Avenida Carlos Eduardo Nichele à Avenida Nossa Senhora Aparecida, nota-se que o congestionamento ocorre principalmente para os veículos que acessam a rótula pela Avenida Carlos Eduardo Nichele, bem como para os que saem da Avenida Nossa Senhora Aparecida. Assim, a via apresenta coloração avermelhada em ambas as análises.

Apesar da formação de filas, o fluxo de veículos da Avenida Nossa Senhora Aparecida é relativamente mais fluido. A saída de veículos do viaduto apresenta um fluxo melhor, uma vez que há menos retorno na rótula, resultando em um tempo de espera apenas devido à preferência na rotatória. Assim, em ambas as situações se observa a cor verde.

Ao observar o segundo ponto de congestionamento, na segunda rótula próxima à Rua Itália, o congestionamento torna-se mais expressivo, especialmente na entrada da Rua Itália na rótula, assim como ocorre na Avenida das Américas, devido à prioridade da rótula. Outro ponto de destaque é a entrada do viaduto, onde a redução de duas faixas de rolamento na rótula para apenas uma faixa na travessia gera um congestionamento nesse acesso.

Os dados fornecidos pelo Google Maps também se mostram compatíveis com as condições observadas na realidade, indicando corretamente os maiores tempos de atraso para os veículos que necessitam acessar as rótulas, especialmente na Avenida Carlos Eduardo Nichele, na saída do viaduto (em ambos os lados), na própria rótula, na Avenida das Américas

e na Rua Itália. A única diferença relevante refere-se à entrada da Avenida Nossa Senhora Aparecida na rotatória, que apresenta tempo de atraso no *software* de simulação de tráfego, assim como observado em campo, o qual não é constatado no Google Maps.

Quando se compara os resultados do Google Maps com os do Aimsun na Região 4, ambas as plataformas identificaram corretamente as vias com maior tempo de atraso, embora haja diferenças pontuais na intensidade dos atrasos, especialmente na Avenida Nossa Senhora Aparecida e nas rótulas. Apesar dessas variações, os resultados podem ser considerados satisfatórios, proporcionando dados consistentes que servem como uma pré-análise útil para o planejamento de melhorias na mobilidade urbana da região.

Essas comparações demonstram que, embora as ferramentas de simulação e de monitoramento em tempo real apresentem algumas discrepâncias na intensidade dos atrasos, ambas fornecem informações valiosas para a compreensão das condições de tráfego e contribuem para a tomada de decisões mais informadas no processo de planejamento urbano.

CONCLUSÕES

O presente estudo investigou a viabilidade do Google Maps como ferramenta de pré-análise para identificar pontos críticos de tráfego em comparação a um software de simulação de tráfego (Aimsun) e observações de campo. As análises realizadas em quatro regiões da cidade de Fazenda Rio Grande, no Paraná, revelaram discrepâncias entre os métodos, ressaltando as limitações e as potencialidades do uso do Google Maps em estudos de tráfego.

Na Região 1 o Google Maps apresentou resultados inconsistentes, especialmente em trechos com interseções semaforizadas. Enquanto a ferramenta indicou fluxos fluidos em diversos pontos críticos (coloração verde), a simulação do Aimsun evidenciou atrasos significativos nesses mesmos locais, com congestionamentos consideráveis, representados pela coloração vermelha ou laranja. Esse contraste destaca que, embora o Google Maps utilize dados em tempo real e séries históricas, ele pode não captar plenamente as dinâmicas locais, como o impacto dos semáforos e a saturação de vias. Por outro lado, o Aimsun, ao modelar detalhadamente o comportamento do tráfego, mostrou-se mais preciso na identificação de atrasos em pontos específicos.

Na Região 2 as divergências foram ainda mais evidentes. Durante períodos de pico, o Google Maps indicou condições favoráveis de tráfego (coloração verde) em vias que, segundo as simulações e observações de campo, apresentaram filas e atrasos consideráveis. Isso ocorreu, por exemplo, na Avenida das Américas, onde o Google Maps não refletiu os impactos das interseções semaforizadas, enquanto o Aimsun modelou de forma precisa as filas e os tempos de espera causados pelos semáforos.

Na Região 3, o desempenho do Google Maps foi mais alinhado com as observações de campo. Em geral, a ferramenta identificou corretamente as vias com maior tempo de

atraso, como a Avenida das Américas e a Avenida das Araucárias. No entanto, diferenças na intensidade dos atrasos foram observadas. Por exemplo, o Google Maps superestimou os atrasos na Avenida das Araucárias, enquanto subestimou na Rua Francisco Claudino dos Santos. Essa variação pode ser atribuída às metodologias distintas: enquanto o Google Maps depende de dados históricos e em tempo real fornecidos pelos usuários, a simulação do Aimsun considera variáveis locais, como capacidade viária, tempos semafóricos e dinâmicas de tráfego específicas.

Nas rótulas da Região 4, ambas as ferramentas identificaram corretamente vias com maior tempo de atraso, apesar de diferenças pontuais na intensidade dos atrasos, especialmente na entrada da Avenida Nossa Senhora Aparecida. O Aimsun apresentou maior precisão na análise de dinâmicas locais complexas, como a redução de faixas no viaduto e a priorização de movimentos nas rótulas, evidenciando sua superioridade para estudos detalhados. Apesar disso, as ferramentas se mostraram complementares, contribuindo para a compreensão das condições de tráfego e orientando a formulação de intervenções no planejamento urbano. Assim, recomenda-se o uso do Google Maps para pré-análises e do Aimsun para estudos aprofundados em cenários críticos.

Esses resultados indicam que, embora o Google Maps seja uma ferramenta de livre acesso com potencial para fornecer uma visão geral do tráfego em tempo real, ele apresenta limitações para estudos detalhados de pontos críticos. Por depender de séries históricas e dados de usuários, o Google Maps tende a suavizar os impactos locais de elementos específicos, como semáforos ou interseções complexas. Por outro lado, o Aimsun, ao modelar detalhadamente as condições de tráfego, oferece uma visão mais precisa e detalhada dos fluxos e atrasos. Assim, o Google Maps pode ser utilizado como uma ferramenta complementar de pré-análise em estudos de tráfego, mas sua aplicação em análises aprofundadas requer cautela e validação com métodos mais robustos, como simulações e observações de campo.

REFERÊNCIAS

AIMSUN. Modeling Vehicle Movement 24.0.0. **Aimsun Next Users Manual**. Barcelona, 2024a. Disponível em: <https://docs.aimsun.com/next/24.0.0/UsersManual/AimsunNextSoftware.html>. Acesso em 18 nov. 2024.

AIMSUN. Modeling Vehicle Movement 24.0.1. **Aimsun Next Users Manual**. Barcelona, 2024b. Disponível em: <https://docs.aimsun.com/next/24.0.1/UsersManual/MicrosimulationModellingVehicleMovement.html#simulation-stepx>. Acesso em 18 nov. 2024.

ALISSON WANDSCHEER. **Fazenda Rio Grande cresce 82,3% em 12 anos**. 28 jun. 2023. Disponível em: <https://deputadoalisson.com.br/2023/06/28/fazenda-rio-grande-cresce-823-em-12-anos/>. Acesso em: 22 nov. 2024.

AYALA, Rosemary Janneth Llanque; JACQUES, Maria Alice Prudêncio. Procedimentos para identificação dos principais parâmetros dos microssimuladores a serem considerados no processo de calibração. *In*. Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte, 26., 2012, Joinville. **Anais do congresso**. Joinville: UFSC. p. 1536-1566. Disponível em <http://icts.unb.br/jspui/handle/10482/13892>. Acesso em 25 nov. 2024.

BÖHLER-BAEDEKER, Susanne; KOST, Christine; MERFORTH, Matthias. **Urban mobility plans: national approaches and local practice: sustainable urban transport**. Technical Document, no. 13. Germany: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, 2014. Disponível em: <https://itdp.org/publication/urban-mobility-plans-national-approaches-and-local-practice/>. Acesso em: 2 dez. 2024.

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **IBGE Cidades 2024**. Rio de Janeiro, 2024a. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/fazenda-rio-grande/panorama>. Acesso em: 26 nov. 2024.

BRASIL. Lei nº 12.587, de 03 de janeiro de 2012. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana; revoga dispositivos dos Decretos-Leis nºs 3.326, de 3 de junho de 1941, e 5.405, de 13 de abril de 1943, da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), aprovada pelo Decreto-Lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943, e das Leis nºs 5.917, de 10 de setembro de 1973, e 6.261, de 14 de novembro de 1975; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 03 jan. 2012. Disponível em https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm. Acesso em 25 nov. 2024.

BRASIL. Ministério das Cidades. **PlanMob: Caderno de Referência para Elaboração de Plano de Mobilidade Urbana**. 3. ed. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2015. Disponível em <http://planodiretor.mprs.mp.br/arquivos/planmob.pdf>. Acesso em 26 nov. 2024.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Sistema de apoio à elaboração de planos de mobilidade urbana: levantamento sobre a situação dos planos de mobilidade urbana**. Ministério das Cidades, 2024b. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/mobilidade-urbana/sistema-de-apoio-a-elaboracao-de-planos-de-mobilidade-urbana/levantamento-sobre-a-situacao-dos-planos-de-mobilidade-urbana#:~:text=24%20da%20PNMU%20e%20conforme,apro>. Acesso em: 2 dez. 2024.

CANDRA, Ade; BUDIMAN, Mohammad Andri; HARTANTO, Kevin. Dijkstra's and a-star in finding the shortest path: a tutorial. **2020 International Conference on Data Science, Artificial Intelligence and Business Analytics (DATABIA)**. IEEE, 2020. p. 28-32. Disponível em <https://ieeexplore.ieee.org/document/9190342>. Acesso em 29 nov. 2024.

CRUZ, Emanuela da Silva. **Pesquisa de origem e destino para os passageiros do transporte coletivo em Campos dos Goytacazes**: análise de linhas distritais, 2021. Trabalho Final de Curso (Bacharelado em Ciências Econômicas) - Universidade Federal Fluminense, Instituto de Ciências da Sociedade e Desenvolvimento Regional, Campo dos Goytacazes, 2021. Disponível em <https://app.uff.br/riuff/handle/1/23201>. Acesso em 27 nov. 2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de estudos de tráfego**. Rio de Janeiro (RJ), 2006. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/723_manual_estudos_trafego.pdf. Acesso em: 19 nov. 2024.

Dornelas, Emiliane das Graças. **Pesquisa Origem e Destino (OD) no Campus Morro do Cruzeiro - UFOP**. 2024. 110 f. Monografia (Graduação em Engenharia Urbana) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2024. Disponível em <https://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/7188>. Acesso em 28 nov. 2024.

DOWLING, Richard; SKABARDONIS, Alexander; ALEXIADIS, Vassil; **Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software**. Georgetown Pike: Federal Highway Administration: 2004. Disponível em: <https://highways.dot.gov/media/6916>. Acesso em 15 nov. 2024.

FABIANOVA, J. *et al.* Design and evaluation of a new intersection model to minimize congestions using VISSIM software. **Open Engineering**, v. 10, n. 1, p. 48–56, 31 jan. 2020.

FRATAR ENGENHARIA CONSULTIVA. **Estudo de Capacidade HCM – Highway Capacity Manual**. Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <https://www.fratar.com.br/servicos/estudos-de-trafego-e-transportes/estudo-de-capacidade-hcm/>. Acesso em 15 nov. 2024.

GEISBERGER, Robert *et al.* Contraction Hierarchies: Faster and Simpler Hierarchical Routing in Road Networks. **Experimental Algorithms: 7th International Workshop, WEA 2008**. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008, p. 319-333. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-68552-4_24. Acesso em 27 nov. 2024

GOOGLE. A Evolução da Pesquisa, 2024. Nossa História. Disponível em: <https://www.google.com/search/howsearchworks/our-history/>. Acesso em 26 nov. 2024.

GOOGLE. How navigation data makes Maps better for everyone. Google Maps Help. 2024. Disponível em: <https://support.google.com/maps/answer/10565726?hl=en&co=GENIE.Platform%3DAndroid&oco=0#zippy=%2Chow-navigation-data-works%2Chow-google-protects-navigation-data%2Cyoure-in-control>. Acesso em 23 nov. 2024.

KUREKE, B.M.C.B; BERNARDINIS, M.D.A.P., 2021. **Engenharia de tráfego: aspectos fundamentais para a cidade do futuro**. Editora Intersaberes.

LIU, C. *et al.* Review of Virtual Traffic Simulation and Its Applications. **Journal of Advanced Transportation**, v. 2020, p. 1–9, 19 jun. 2020.

MACHADO, L.; PICCININI, L. S. Os desafios para a efetividade da implementação dos planos de mobilidade urbana: uma revisão sistemática. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 10, n. 1, p. 72–94, 1 fev. 2018.

PELL, A.; MEINGAST, A.; SCHAUER, O. Trends in Real-time Traffic Simulation. **Transportation Research Procedia**, v. 25, p. 1477–1484, 2017.

PORTUGAL, Licínio da Silva. **Transporte, Mobilidade e Desenvolvimento Urbano**. 2017.

PORTUGAL, Licínio da Silva. **Transporte, mobilidade e desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

SILVA, Alexandre Rosa da; CORRÊA, Juliana de Brito. **Engenharia de tráfego: aspectos fundamentais para a cidade do futuro**. São Paulo: Elsevier, 2014. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=en&lr=&id=5fUOEQAQBAJ&oi=fnd&pg=PT3&dq=Engenharia+de+tr%C3%A1fego::+aspectos+fundamentais+para+a+cidade+do+futuro.&ots=xez6yoXC9I&sig=3XbYQjEVIGU0rPoGpAUrPsk__Os&redir_esc=y#v=onepage&q=Engenharia%20de%20tr%C3%A1fego%3A%3A%20aspectos%20fundamentais%20para%20a%20cidade%20do%20futuro.&f=false. Acesso em: 2 dez. 2024.

URQUHART, Neil. Routing Algorithms. **Nature Inspired Optimisation for Delivery Problems**. Springer International Publishing, 2022. p 161-189. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-98108-2>. Acesso em 29 nov. 2024.

WRI BRASIL. **Sete passos: como construir um plano de mobilidade urbana**. São Paulo: WRI Brasil, 2018. Disponível em: https://www.wribrasil.org.br/sites/default/files/Sete%20Passos%20-%20Como%20construir%20um%20Plano%20de%20Mobilidade%20Urbana_jan18.pdf. Acesso em: 2 dez. 2024.

ZHANG, Zhanying; ZHAO, Ziping. A Multiple Mobile Robots Path planning Altorithm Based on A-star and Dijkstra Algorithm. **International Journal of Smart Home**. 2014. v. 8, n. 3, p. 75-86. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14257/ijsh.2014.8.3.07>. Acesso em 26 nov. 2024