

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

ALINE CAMPOS DA SILVA

**TRANSPORTE DE SEMIRREBOQUES ENTRE AS ESTAÇÕES
DE TRANSBORDO DE CARGAS E AS SUAS IMPLICAÇÕES
NO TRÂNSITO DE MANAUS**

MANAUS

2025

ALINE CAMPOS DA SILVA

**TRANSPORTE DE SEMIRREBOQUES ENTRE AS ESTAÇÕES
DE TRANSBORDO DE CARGAS E AS SUAS IMPLICAÇÕES
NO TRÂNSITO DE MANAUS**

Projeto Final de Engenharia Civil II, da
Universidade Federal do Amazonas (UFAM), como
requisito para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Augusto Cesar Barreto Rocha

MANAUS

2025

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S586t Silva, Aline Campos da
Transporte de semirreboques entre as estações de transbordo de cargas e as suas implicações no trânsito de Manaus / Aline Campos da Silva. - 2025.
91 f. ; 31 cm.

Orientador(a): Augusto Cesar Barreto Rocha.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Manaus-AM, 2025.

1. Transporte de cargas. 2. Semirreboques. 3. Trânsito urbano. 4. Logística urbana. I. Rocha, Augusto Cesar Barreto. II. Universidade Federal do Amazonas. Faculdade de Tecnologia. Curso de Engenharia Civil. III. Título

ALINE CAMPOS DA SILVA

**TRANSPORTE DE SEMIRREBOQUES ENTRE AS ESTAÇÕES
DE TRANSBORDO DE CARGAS E AS SUAS IMPLICAÇÕES
NO TRÂNSITO DE MANAUS**

Projeto Final de Engenharia Civil II, da
Universidade Federal do Amazonas (UFAM), como
requisito para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Manaus – AM, novembro de 2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Augusto Cesar Barreto Rocha - UFAM
Orientador

Prof.^a Dr.^a Daniela Muniz D'Antona Guimarães - UFAM
Avaliadora

Prof. Dr. David Brandão Nunes - UFAM
Avaliador

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e ao Departamento de Engenharia Civil (DEC) por todo o aprendizado e pelas experiências proporcionadas ao longo desta trajetória de formação. A UFAM representa não apenas um espaço de ensino e pesquisa, mas também um ambiente de inclusão, estímulo à criação cultural e desenvolvimento do pensamento reflexivo, pautado no respeito e na diversidade.

Expresso minha sincera gratidão ao meu orientador, Prof. Dr. Augusto Cesar Barreto Rocha, por todo o aprendizado, paciência e dedicação. É notável o quanto evoluí em escrita e pesquisa acadêmica, resultado direto de sua orientação rigorosa e inspiradora. Sou profundamente grata também pelas oportunidades proporcionadas por seu apoio, que me permitiram conhecer e visitar diversas empresas de transporte e gestores do setor, ampliando minha visão sobre a área. Estendo meus agradecimentos ao Prof. Gustavo Adolfo Alves da Costa, pela valiosa orientação e parceria em pesquisas científicas que contribuíram para meu crescimento acadêmico.

Agradeço especialmente à minha mãe, Oriane Barboza Campos, que é quem mais acredita em mim, muitas vezes até mais do que eu mesma; sua força, apoio incondicional e amor são o alicerce de cada conquista que alcancei. Agradeço, ainda, à minha avó, Maria Francisca Barboza Campos, cujo carinho, cuidado e presença constante tornaram esta trajetória mais leve e possível.

Aos amigos que estiveram ao meu lado nesta caminhada, deixo meu sincero reconhecimento, em especial a Guilherme Araújo Soares, por me ouvir, orientar e acompanhar de perto esta pesquisa, assim como a João Witor Silva de Lima, Paulo Levy Marques do Rosário, Júlia Maiá Albuquerque e Layane Cristine Moraes de Matos, pelo companheirismo, incentivo e apoio constantes. Estendo também minha gratidão aos colegas de turma Arícia Cirqueira Rodrigues, Vinícius Davi Soares Lima e Roberto Rodrigues Freitas, com quem compartilhei desafios, aprendizados e conquistas, tornando esta jornada acadêmica menos difícil e muito mais significativa.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, deixo meu mais sincero agradecimento.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo analisar de que maneira o transporte de semirreboques, provenientes do modal aquaviário, afeta a fluidez do trânsito urbano em Manaus. Considerando o crescimento das atividades logísticas na região e as limitações estruturais de algumas vias, buscou-se compreender a relação entre o volume de veículos pesados e o desempenho viário em diferentes horários do dia. A pesquisa adotou abordagem quantitativa, utilizando dados coletados junto a uma empresa de transporte, abrangendo a identificação das estações de transbordo de carga, das rotas de deslocamento e a medição dos tempos de percurso por faixa horária. Os resultados indicaram que o impacto do transporte de semirreboques sobre o trânsito não depende apenas do volume de veículos, mas também das características físicas e funcionais das vias. As análises estatísticas indicaram que não há correlação significativa entre o número de semirreboques e a variação dos tempos de percurso, com R^2 da Rota 1 = 0,0126 e da Rota 2 = 0,0264, indicando ausência de anomalias significativas associadas exclusivamente à circulação desses veículos. Observou-se que, embora o maior número de movimentações ocorra no turno da manhã, os maiores acréscimos nos tempos médios de viagem foram registrados no período da tarde, com um aumento de 12,5% na Rota 1 e de 14,3% na Rota 2, coincidindo com o pico geral do tráfego urbano. Isso demonstra que o congestionamento da malha viária exerce influência mais significativa sobre o desempenho das rotas do que a própria movimentação logística. Conclui-se que, nas condições analisadas, a presença de semirreboques não se configura como fator determinante isolado para a degradação da fluidez viária, sendo o desempenho do trânsito fortemente condicionado pela capacidade das vias, pela distribuição do fluxo urbano e pelo estado da infraestrutura. Os achados reforçam a importância de análises integradas entre logística urbana e planejamento viário, contribuindo para a compreensão dos impactos reais do transporte pesado na dinâmica do tráfego de Manaus.

Palavras-chave: Transporte de cargas; Semirreboques; Trânsito urbano; Logística urbana.

ABSTRACT

This study aimed to analyze how the transportation of dry van trucks originating from the inland waterway mode affects urban traffic flow in the city of Manaus. Considering the growth of logistics activities in the region and the structural limitations of certain roadways, the research sought to understand the relationship between the volume of heavy vehicles and road performance at different times of the day. A quantitative approach was adopted, using data collected from a transportation company, including the identification of cargo transshipment terminals, travel routes, and the measurement of travel times by time period. The results indicated that the impact of dry van truck transportation on traffic flow does not depend solely on vehicle volume but is also influenced by the physical and functional characteristics of the road network. Statistical analyses showed no significant correlation between the number of dry van trucks and variations in travel times, with R^2 values of 0.0126 for Route 1 and 0.0264 for Route 2, indicating the absence of significant anomalies exclusively associated with the circulation of these vehicles. Although the highest number of logistics movements occurs during the morning period, the most pronounced increases in average travel times were observed in the afternoon, with increases of 12.5% on Route 1 and 14.3% on Route 2, coinciding with the general peak of urban traffic. This demonstrates that congestion in the urban road network exerts a more significant influence on route performance than logistics operations themselves. It is concluded that, under the conditions analyzed, the presence of dry van trucks does not constitute an isolated determining factor for the degradation of traffic flow, as traffic performance is strongly conditioned by roadway capacity, urban flow distribution, and infrastructure conditions. The findings reinforce the importance of integrated analyses between urban logistics and transportation planning, contributing to a better understanding of the actual impacts of heavy freight transport on traffic dynamics in Manaus.

Keywords: Cargo transportation; Dry van trucks; Urban traffic; Urban logistics.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	JUSTIFICATIVA.....	11
1.2	PROBLEMA DA PESQUISA.....	12
1.3	OBJETIVOS.....	13
1.3.1	Objetivo geral	13
1.3.2	Objetivos específicos	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	SISTEMA RÔ-RÔ CABOCLO.....	15
2.1.1	Características e funcionamento do sistema	16
2.1.2	Empresas operadoras	17
2.1.3	Empresas usuárias do sistema	18
2.1.4	Comparação com a cabotagem	19
2.2	INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DO VEÍCULO E DA CARGA NA VELOCIDADE DO TRANSPORTE	21
2.2.1	Aerodinâmica e design veicular	22
2.2.2	Excesso de peso e capacidade operacional	23
2.2.3	Fatores externos e condições de circulação	25
2.3	MÉTODOS DE COLETA DE DADOS DE VELOCIDADE E TEMPO DE VIAGEM.....	27
2.3.1	Loops de indutância	28
2.3.2	Detecção por imagem de vídeo	29
2.3.3	Radar de micro-ondas	30
2.3.4	Monitoramento por veículos de sonda	31
2.3.5	Coleta baseada em beacon	33
2.3.6	Rastreamento de celulares	34
2.3.7	Rastreamento por satélite (GPS/Galileo)	35
2.4	APLICATIVOS DE NAVEGAÇÃO POR GPS.....	37
2.5	ESTUDOS REALIZADOS COM USO DE FERRAMENTAS DE NAVEGAÇÃO	38
3	METODOLOGIA	40
4	ANÁLISES DOS RESULTADOS	46

4.1	LEVANTAMENTO DE DADOS COM A EMPRESA DE TRANSPORTE A	
	46
4.2	ANÁLISE DAS ROTAS	53
4.3	DISCUSSÕES DOS RESULTADOS	73
5	CONCLUSÃO	77
	REFERÊNCIAS	81

1 INTRODUÇÃO

O transporte de cargas é um fator crucial para a integração econômica e o desenvolvimento de regiões geograficamente isoladas, como a Amazônia. No contexto de Manaus, a logística de transporte é particularmente desafiadora devido às limitações de infraestrutura terrestre e à dependência de modais aquaviários para o escoamento de mercadorias. Entre os principais métodos empregados, destaca-se o transporte de semirreboques por balsas, prática que, em muitos casos, é apelidada de “rô-rô caboclo” (*roll-on/roll-off*), representando uma adaptação regional deste modelo logístico. Conforme Oliveira Neto e Nogueira (2019), esse sistema é caracterizado pelo uso de balsas de baixo calado, onde semirreboques ou outros veículos rodoviários são embarcados e desembarcados diretamente, sem a necessidade de manuseio adicional, tornando a logística mais ágil e eficiente na região amazônica.

A eficiência das operações logísticas na região não apenas influencia os custos operacionais, mas também afeta diretamente o trânsito urbano e a sustentabilidade das atividades econômicas locais. Recentemente, a Prefeitura de Manaus tem intensificado medidas de fiscalização voltadas para veículos de grande porte, incluindo semirreboques, visando à segurança viária e à redução de possíveis impactos no trânsito urbano, especialmente nas áreas de maior concentração de carga, como o Polo Industrial de Manaus (PIM) e os principais portos da cidade (Manaus, 2023). Tais ações destacam a relevância de estudos que analisem o papel desses veículos na dinâmica urbana, contribuindo para o planejamento de intervenções mais eficazes.

A logística em Manaus enfrenta entraves significativos relacionados à expansão urbana desordenada. De acordo com Rodrigues (2024), a ocupação territorial sem planejamento provoca a sobrecarga das vias urbanas, dificultando a circulação de veículos de carga e comprometendo a eficiência da distribuição de mercadorias. Além disso, a infraestrutura viária não acompanhou o ritmo da expansão urbana, resultando em vias estreitas e mal conservadas, que não suportam o volume crescente de veículos, especialmente os de carga pesada.

Além dos desafios terrestres, o transporte hidroviário — fundamental para o abastecimento da capital — também enfrenta limitações. De acordo com Trompowsky

(2023), o Rio Amazonas é uma via essencial para o transporte de cargas na região Norte. No entanto, as severas estiagens dos últimos anos têm comprometido significativamente a navegação, reduzindo o calado e limitando a capacidade de carga das embarcações. Nesse contexto, observa-se um aumento na utilização de balsas, por serem embarcações de menor calado e maior adaptabilidade às condições de navegação restrita, funcionando como alternativa temporária para o escoamento de cargas em períodos críticos.

1.1 JUSTIFICATIVA

Conforme Cruz *et al.* (2024), a logística urbana é indispensável para atender às crescentes demandas dos consumidores, otimizando a distribuição de mercadorias e promovendo a mobilidade urbana. No caso de Manaus, o uso de balsas para o transporte de semirreboques entre as Estações de Transbordo de Cargas representa uma solução logística essencial, mas que também levanta questões sobre os impactos no tráfego urbano e na eficiência das operações. Complementarmente, Brum *et al.* (2018) destacam que, em um ambiente competitivo, a capacidade de inovar na gestão logística, reduzindo custos operacionais e oferecendo diferenciais como rastreabilidade e capilaridade, é determinante para o sucesso de operações logísticas complexas. No entanto, é necessário investigar como essas operações podem influenciar o tráfego local, especialmente nas vias que conectam os terminais aos principais corredores urbanos, a fim de identificar oportunidades de melhoria e assegurar uma logística mais integrada e sustentável.

A cidade de Manaus exerce papel estratégico na logística da Região Norte, especialmente por abrigar o Polo Industrial de Manaus (PIM). No entanto, a urbanização acelerada sem infraestrutura compatível compromete a eficiência do transporte de cargas. O transporte de semirreboques por balsas, conhecido localmente como “rô-rô caboclo”, é uma solução adaptada às peculiaridades da região amazônica, facilitando a integração entre os modais aquaviário e rodoviário. Conforme Oliveira Neto e Nogueira (2019), esse sistema permite operações mais ágeis e eficientes, reduzindo a necessidade de manuseio adicional das cargas.

Contudo, essa prática tem implicações diretas no trânsito urbano. Segundo Maia (2022), a circulação de veículos pesados, como os semirreboques, contribui para

o aumento da lentidão no tráfego, especialmente em vias com infraestrutura inadequada. Segundo Freitas (2022), a operação de veículos de carga na Av. General Rodrigo Otávio, uma das principais vias de Manaus, apresenta desafios significativos relacionados à velocidade e retardamento, afetando a fluidez do trânsito. Além disso, a percepção dos usuários sobre a mobilidade urbana em Manaus revela insatisfação com as condições de trafegabilidade e a infraestrutura viária disponível. De acordo com Pontes *et al.* (2022), os usuários afirmam que as ruas manauaras não oferecem boas condições de trafegabilidade, e os condutores não estão preparados para lidar com a complexidade do trânsito local.

Embora o transporte por balsas represente uma solução estratégica para a logística regional, especialmente no contexto do sistema “rô-rô caboclo”, seus efeitos colaterais sobre a mobilidade urbana de Manaus ainda são pouco explorados. Isso porque os veículos de carga que acessam os terminais fluviais, especialmente os semirreboques transportados por balsas, acabam circulando em vias urbanas muitas vezes despreparadas para esse tipo de tráfego. A presença desses veículos em horários inadequados tem gerado impactos significativos na fluidez do trânsito e na segurança viária. Dados da Prefeitura Municipal de Manaus apontam um aumento de 174% nas autuações envolvendo veículos pesados transitando em locais e horários proibidos entre 2023 e 2024, sugerindo falhas na regulamentação e no controle dessa interface entre o transporte fluvial e o urbano (Manaus, 2025).

Diante disso, torna-se necessário investigar como essas dinâmicas afetam a logística urbana, contribuindo para o planejamento de soluções integradas que conciliem eficiência operacional e qualidade de vida nas áreas urbanas.

1.2 PROBLEMA DA PESQUISA

Apesar da importância do transporte de semirreboques por balsas, especialmente por meio do sistema “rô-rô caboclo”, para a logística regional, ainda são escassos os estudos que analisem seus efeitos sobre a mobilidade urbana de Manaus. Isso porque, após o desembarque nos terminais fluviais, esses veículos pesados passam a circular por vias urbanas com infraestrutura limitada, contribuindo para o agravamento de problemas existentes, como congestionamentos, aumento do tempo de deslocamento, desgaste viário precoce e riscos à segurança no trânsito. A

circulação desses veículos em horários de pico tem gerado preocupações entre gestores públicos, operadores logísticos e a população em geral, evidenciando a necessidade de compreender melhor a interface entre a logística fluvial e o sistema viário urbano.

Entre os sinais do agravamento desse cenário está o crescimento nas infrações cometidas por veículos de carga. Registros da Prefeitura Municipal de Manaus indicam um aumento expressivo nas autuações relacionadas ao tráfego de caminhões e semirreboques em locais e horários não permitidos entre 2023 e 2024 (Manaus, 2025). Esses dados sugerem uma intensificação do uso das vias urbanas por veículos pesados, muitas vezes sem o devido planejamento logístico e sem fiscalização adequada. Como consequência, há uma sobrecarga da infraestrutura viária e um aumento nos riscos à segurança e à fluidez do tráfego.

A ausência de estudos aprofundados sobre essa interação entre logística fluvial e trânsito urbano compromete o desenvolvimento de soluções sustentáveis, dificultando a formulação de políticas públicas e estratégias operacionais que conciliem mobilidade e eficiência logística. Diante disso, este trabalho propõe investigar o seguinte problema: de que forma o transporte de semirreboques entre as Estações de Transbordo de Cargas influencia o trânsito urbano de Manaus, e quais medidas podem ser adotadas para mitigar seus impactos negativos? Responder a essa questão é essencial para subsidiar decisões que promovam um sistema logístico mais eficiente e uma mobilidade urbana mais segura e equilibrada.

1.3 OBJETIVOS

Os objetivos deste estudo serão divididos em objetivo geral e objetivos específicos, conforme detalhado abaixo:

1.3.1 Objetivo geral

Avaliar os impactos do transporte de semirreboques, provenientes do modal aquaviário por balsas, no trânsito de Manaus, considerando as operações realizadas entre a maior Estação de Transbordo de Carga e seus principais destinos.

1.3.2 Objetivos específicos

a) Identificar as principais empresas operando no transporte aquaviário com uso de semirreboques, suas frotas, suas balsas e volumes de movimentação por terminal, dia e hora;

b) Analisar os tempos de viagem entre a principal Estação de Transbordo de Cargas com os principais destinos no Polo Industrial de Manaus e Centros de Distribuição;

c) Avaliar os efeitos do transporte de semirreboques no trânsito, correlacionando com as análises de tempo de viagem, constatando eventuais anomalias nas rotas estudadas.

Este estudo é uma continuidade e ampliação da pesquisa desenvolvida no âmbito do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC/PAIC 2024–2025), vinculada ao projeto de código PIB-ENG/0025/2024. A investigação realizada na pesquisa anterior, em contexto distinto, serviu como base para as análises aqui apresentadas, pois tratou de outro contexto, tipo diferente de veículo e rotas distintas, mas investigando os impactos sobre a mobilidade urbana de Manaus.

Com os objetivos delineados, a pesquisa foi estruturada em capítulos que se articulam de forma complementar. O Capítulo 1 apresentou o tema, a justificativa, os objetivos e a problemática que orienta o estudo, situando o transporte de semirreboques entre as Estações de Transbordo de Carga no contexto da mobilidade urbana de Manaus. O Capítulo 2 reúne a revisão de literatura, na qual são discutidos os principais fundamentos teóricos e estudos relacionados ao sistema “rô-rô caboclo”, às características dos veículos e das cargas, bem como aos métodos e tecnologias de coleta de dados aplicados à análise de tempo e velocidade de viagem. O Capítulo 3 descreve a metodologia empregada, detalhando os procedimentos adotados para o levantamento, tratamento e análise dos dados. No Capítulo 4, apresentam-se os resultados e a discussão, articulando as evidências empíricas aos referenciais teóricos. Por fim, nas considerações finais, são retomados os objetivos propostos, sintetizados os principais apontamentos e indicadas possibilidades para o avanço de estudos futuros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A presente revisão de literatura foi organizada com o objetivo de oferecer uma base teórica sólida para a compreensão do sistema “rô-rô caboclo”, dos principais fatores que influenciam a velocidade no transporte de cargas, bem como dos métodos empregados na coleta e análise de dados sobre tempo de percurso e desempenho operacional. A estrutura adotada segue uma abordagem temática e sequencial, iniciando com a descrição do sistema logístico objeto de estudo, avançando para a análise das variáveis que afetam sua eficiência e, por fim, abordando as tecnologias utilizadas para coleta de dados e aos estudos semelhantes já realizados.

Como critério de seleção e organização dos tópicos, foram priorizadas fontes relevantes e recentes, que abordam tanto aspectos técnicos do sistema de transporte quanto os métodos utilizados para mensuração de desempenho logístico. Inicialmente, são apresentados os fundamentos do sistema “rô-rô caboclo” e suas particularidades operacionais. Em seguida, discutem-se os fatores físicos e operacionais que interferem na velocidade dos veículos de carga. Na terceira parte, são explorados os métodos tecnológicos empregados na coleta de dados de velocidade e tempo de viagem, com destaque para os sistemas baseados em GPS. Por fim, a revisão contempla os principais estudos que aplicam ferramentas de navegação em análises logísticas, permitindo contextualizar a metodologia adotada neste trabalho.

2.1 SISTEMA RÔ-RÔ CABOCLO

O sistema “rô-rô caboclo” representa uma solução logística singular desenvolvida para atender às necessidades do transporte de cargas na Amazônia, onde a infraestrutura rodoviária é limitada e as hidrovias desempenham papel central. A seguir, são apresentadas as principais características desse sistema, bem como seu funcionamento e relevância no contexto do PIM.

2.1.1 Características e funcionamento do sistema

No PIM, a falta de infraestrutura rodoviária destaca a necessidade do transporte multimodal, visando reduzir os custos para as empresas locais. Conforme elucidado pela Memória do Transporte (2021), o sistema “rô-rô caboclo” é uma versão adaptada das embarcações *roll-on/roll-off*, utilizada para o transporte de cargas na região amazônica. Oliveira Neto e Nogueira (2019) acrescentam que este sistema de transporte de cargas ocorre principalmente em balsas ou barcaças de baixo calado, onde as carretas, semirreboques ou outros veículos rodoviários são embarcados e desembarcados diretamente de embarcações fluviais.

Christodoulou *et al.* (2019) enfatizam a importância do sistema “rô-rô” na integração intermodal, simplificando a logística ao permitir o transporte de cargas sem a necessidade de içamento nos portos. Oliveira Neto e Nogueira (2020) corroboram, destacando que essa solução adotada na região amazônica torna o transporte de carga mais eficiente e ágil, sem a necessidade de mover o conjunto do cavalo trator e semirreboque.

No entanto, segundo Aguiar Filho, Brilhante e Santos (2016), a utilização do sistema “rô-rô caboclo” tem perdido espaço para a cabotagem nos últimos anos. Pesquisas realizadas recentemente por Oliveira Neto (2024) revelam que as transformações contemporâneas na circulação e nos transportes na Amazônia provocaram uma mudança nas preferências de transporte de cargas na região, onde a cabotagem tem se destacado como uma opção mais viável e eficiente para o transporte de cargas na região amazônica. Isso se deve principalmente ao fato de que a cabotagem utiliza navios de maior porte e possui uma infraestrutura mais desenvolvida nos portos costeiros.

Portanto, a análise do transporte de cargas no PIM ressalta a importância do transporte multimodal diante da escassez de infraestrutura rodoviária. O sistema “rô-rô caboclo” simplificou a logística na região amazônica, mas estudos recentes indicam uma preferência crescente pela cabotagem, devido à sua eficiência e infraestrutura portuária mais desenvolvida. Esta mudança reflete as transformações em curso no transporte de cargas na região, exigindo adaptação contínua às demandas logísticas emergentes.

2.1.2 Empresas operadoras

Segundo o Plano Mestre do Porto de Manaus, elaborado pelo Laboratório de Transporte e Logística da UFSC (LabTrans) sob encomenda da Secretaria de Portos da Presidência da República (Brasil, 2013), terminais privados como Chibatão II, Navecunha, Moss, Bertolini, JF Oliveira, REMAM, Sanave e Carinhoso operam no sistema “rô-rô caboclo”, modalidade intermodal típica da região amazônica que combina os modais rodoviário e hidroviário. Esse sistema é fundamental para conectar a Zona Franca de Manaus aos mercados consumidores e aos fornecedores de alimentos e matérias-primas. Empresas como Bertolini, JF Oliveira e Chibatão II desempenham papel destacado nessas operações, contribuindo para a dinâmica logística regional. Jesus, Oliveira Neto e Bernardino (2024) reforçam essa relevância ao destacar que, no Porto Chibatão, operadores utilizam balsas do sistema “rô-rô caboclo” para transportar dezenas de carretas no percurso Manaus–Humaitá, evidenciando o papel estratégico dessas empresas para o abastecimento da região.

Nesse sentido, Santos (2013) destaca que a Amazônia é rica em recursos hídricos, com rios importantes como Negro, Branco, Madeira, Capim, Guamá, Tapajós e Pará, essenciais para o transporte fluvial de mercadorias. As empresas operadoras que atuam no sistema “rô-rô caboclo” e no transporte por balsas exercem papel fundamental ao garantir o fluxo de produtos e insumos pela bacia amazônica. Essas operações, integradas à malha hidroviária, fortalecem a logística regional e podem complementar a distribuição de cargas, especialmente em áreas de difícil acesso ou com infraestrutura rodoviária limitada.

Além disso, Oliveira Neto (2025) destaca que os fluxos de transporte de carga na Amazônia não ocorrem de forma contínua ao longo do ano, sendo impactados pelas dinâmicas de cheia e vazante dos rios e pelas condições das rodovias não pavimentadas em períodos de chuva intensa. Essas variações representam desafios operacionais específicos para as empresas, que precisam constantemente adaptar suas estratégias logísticas para superar as limitações impostas pelo clima e pela infraestrutura, garantindo assim o abastecimento regular de Manaus, especialmente em 2023 e 2024. A pesquisa, baseada em levantamento bibliográfico, dados e trabalhos de campo, evidencia a importância da integração entre o sistema “rô-rô

caboclo” e a rodovia BR-319 para manter a trafegabilidade e superar obstáculos logísticos, assegurando a eficiência no transporte de cargas na região.

Portanto, as empresas operadoras exercem um papel estratégico na dinâmica logística da região amazônica, ao viabilizarem a integração entre os modais rodoviário e hidroviário por meio do sistema “rô-rô caboclo” e do transporte por balsas. Essa atuação é essencial para assegurar o abastecimento da Zona Franca de Manaus e de outras áreas, conectando mercados consumidores e fornecedores, mesmo em um cenário marcado por grandes desafios operacionais. As variações sazonais dos rios, a precariedade de parte da infraestrutura rodoviária e as condições climáticas adversas exigem dessas empresas uma elevada capacidade de adaptação, além de planejamento logístico constante. Nesse contexto, a eficiência das operações depende diretamente da integração entre os sistemas de transporte e da atuação eficaz dessas operadoras, que se consolidam como peças-chave para a manutenção da fluidez e da continuidade do transporte de cargas na Amazônia.

No estudo estão considerados as principais Estações de Transbordo de Carga sem revelar diretamente seus nomes.

2.1.3 Empresas usuárias do sistema

De acordo com Meirelles (2023), empresas do PIM utilizam o sistema “rô-rô caboclo” para escoar sua produção. A Honda, por exemplo, transporta motocicletas em racks retornáveis por meio de balsas até Belém, de onde seguem por rodovia para outras regiões do país. Esse modelo logístico permite uma integração eficiente entre os modais fluvial e rodoviário, essencial para atender às demandas do mercado nacional.

Conforme Adachi (2021), a rede varejista Bemol desenvolveu uma estratégia logística multifacetada para atender às comunidades ribeirinhas e do interior do estado na Amazônia. Por meio do projeto “e-commerce caboclo”, a empresa utiliza amplamente o transporte por balsas como parte essencial de seu sistema de entregas, sobretudo nas rotas fluviais da região. Embora não se trate do modelo “rô-rô” em sua definição clássica, o uso sistemático de balsas nessa operação representa uma adaptação funcional do sistema caboclo às necessidades do varejo amazônico,

integrando tecnologia e soluções logísticas específicas para superar as limitações de acesso. Essa operação é complementada por outros meios, como aviões e barcos de pequeno porte, configurando uma logística híbrida voltada às peculiaridades regionais.

Segundo o Centro da Indústria do Estado do Amazonas – CIEAM (2024), durante os períodos de seca severa registrados em 2023 e 2024, as indústrias do PIM enfrentaram sérios desafios no escoamento de suas produções, devido à redução da navegabilidade nos principais rios da região. Para contornar essa situação, foi adotado o transbordo de contêineres de navios de cabotagem para balsas de menor calado, que conseguem operar mesmo em trechos com baixa profundidade. As balsas, nesse contexto, assumiram papel essencial para manter a cadeia logística em funcionamento, garantindo o transporte de insumos e produtos acabados. Essa adaptação operacional reforça a importância estratégica do sistema fluvial na Amazônia e destaca a necessidade de planejamento e investimentos em infraestrutura e logística para enfrentar eventos extremos com maior resiliência.

Diante do cenário logístico da Amazônia, observa-se que o sistema “rô-rô caboclo” vem sendo adotado por empresas de diferentes segmentos do PIM, consolidando-se como uma solução estratégica versátil e adaptável às particularidades regionais. Sua aplicação não se restringe a setores específicos, mas atende desde a indústria de transformação, como a Honda, até o varejo, como no caso da Bemol, revelando seu potencial de articulação entre produção e distribuição. Em períodos críticos, como as secas severas de 2023 e 2024, a flexibilidade do sistema, por meio do uso de balsas de menor calado, foi decisiva para manter o fluxo logístico. Essa capacidade de adaptação operacional reforça não apenas a relevância do transporte fluvial na Amazônia, mas também a contribuição ativa das empresas usuárias para a resiliência da cadeia de suprimentos regional. Nesse contexto, torna-se evidente a importância de fortalecer continuamente a infraestrutura hidroviária, garantindo maior previsibilidade e eficiência às operações logísticas na região.

2.1.4 Comparação com a cabotagem

A comparação entre o sistema “rô-rô caboclo” e a cabotagem revela diferenças significativas nos aspectos logísticos, econômicos e ambientais do transporte de

cargas no Brasil. Silveira Júnior, Rodrigues e Nunes (2022) destacam que a cabotagem, caracterizada pelo transporte marítimo entre portos nacionais, apresenta maior eficiência econômica devido ao uso de navios de maior porte e à infraestrutura portuária desenvolvida. Os autores afirmam que a cabotagem proporciona custos logísticos reduzidos em relação ao transporte rodoviário, especialmente em longas distâncias ao longo da costa brasileira.

Segundo Moraes (2008), o sistema “rô-rô caboclo” consiste no transporte de cargas em carretas que têm origem ou destino na região Sul do país e que, ao chegar aos portos, são embarcadas em barcaças projetadas especificamente para esse tipo de operação. De acordo com Aguiar Filho, Brilhante e Santos (2016), essas embarcações apresentam variações em suas dimensões e capacidades. Por exemplo, uma configuração comum é a barcaça com 84 metros de comprimento e 15 metros de boca, capaz de transportar até 1.000 toneladas de carga. Outra configuração, com 80 metros de comprimento e 21 metros de boca, possui capacidade de até 1.400 toneladas.

Embora os dados apresentados evidenciem as capacidades operacionais das barcaças utilizadas no sistema “rô-rô caboclo”, cabe destacar que a cabotagem tradicional geralmente opera com navios de maior porte e capacidade significativamente superior. Conforme observado por Silveira Júnior, Rodrigues e Nunes (2022), as embarcações empregadas na cabotagem podem transportar contêineres e cargas soltas em volumes muito superiores aos observados em barcaças fluviais, o que contribui para ganhos de escala e redução do custo por tonelada transportada. No entanto, apesar dessa vantagem evidente em termos de capacidade, os dados técnicos específicos variam amplamente conforme o tipo de embarcação (porte bruto, comprimento, calado) e a rota operada, dificultando a padronização de uma média representativa para todo o setor.

Rodrigues (2018) realizou um estudo comparativo entre os modais de cabotagem porta-a-porta e transporte rodofluvial, considerando as emissões de CO₂ em rotas com origem e destino em Manaus. Os resultados indicaram que a cabotagem emite até 40% menos CO₂ no trecho entre Manaus e São Paulo e 54% menos entre Manaus e Recife, quando comparada ao modal rodofluvial. Além disso, mostrou-se mais eficiente mesmo em distâncias menores, como no percurso até Recife, onde as emissões foram significativamente inferiores.

Dessa forma, a cabotagem apresenta vantagens evidentes em termos de capacidade de transporte e eficiência econômica, especialmente para longas distâncias e rotas costeiras, possibilitando ganhos de escala e menor custo logístico. O sistema “rô-rô caboclo”, embora com capacidade reduzida, oferece flexibilidade para regiões específicas e pode atender demandas locais em áreas fluviais. Além disso, os estudos indicam que a cabotagem é ambientalmente mais eficiente, com menores emissões de CO₂ em comparação ao transporte rodofluvial, o que reforça seu papel estratégico na matriz logística brasileira.

2.2 INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DO VEÍCULO E DA CARGA NA VELOCIDADE DO TRANSPORTE

A velocidade do transporte rodoviário é condicionada por múltiplos fatores relacionados tanto às características dos veículos quanto às condições da carga e do ambiente em que operam. GoDrive (2023) ressalta que o design aerodinâmico dos veículos é fundamental para reduzir a resistência ao ar, promovendo maior economia de energia e permitindo que eles atinjam velocidades mais elevadas de forma eficiente. Yamaue e Hambruch (2019) complementam essa visão, apontando que melhorias no design aerodinâmico, especialmente em caminhões pesados, podem reduzir significativamente o consumo de combustível, impactando diretamente o desempenho e a sustentabilidade do transporte.

Por outro lado, o excesso de peso nos veículos limita a eficiência do transporte rodoviário. Ghisolfi *et al.* (2018) destacam que cargas acima dos limites provocam maior desgaste da infraestrutura viária e elevam os riscos de acidentes, prejudicando a velocidade e a segurança do tráfego. A Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2019) corrobora esse impacto negativo, associando a sobrecarga à deterioração precoce dos veículos e ao aumento dos custos operacionais.

Além das características do veículo e da carga, fatores externos também influenciam a operação logística. Guimarães (2021) evidencia que as condições das vias, do clima e da topografia afetam a fluidez do tráfego e, conseqüentemente, a velocidade do transporte. Caleffi *et al.* (2016) mostram que eventos climáticos adversos, como chuvas intensas, reduzem significativamente a velocidade média dos veículos, comprometendo a eficiência do transporte.

Diante desse cenário, é fundamental compreender essas variáveis e suas interações para otimizar a eficiência e a segurança do transporte. Essa abordagem integrada permite identificar pontos críticos e propor soluções que melhorem o desempenho operacional do processo logístico.

A seguir, são analisados os principais elementos que condicionam a velocidade no transporte rodoviário de cargas, visando aprofundar a compreensão dos mecanismos que impactam diretamente a fluidez, a eficiência e a segurança das operações logísticas.

2.2.1 Aerodinâmica e design veicular

No contexto do transporte rodoviário, diversos fatores pertencentes aos veículos podem influenciar diretamente sua velocidade. O design aerodinâmico influencia diretamente a velocidade máxima sustentável do veículo ao reduzir a resistência do ar, permitindo maior eficiência e menor esforço do motor. O design aerodinâmico, por exemplo, desempenha um papel crucial na redução da resistência ao ar, permitindo que veículos com formas otimizadas alcancem maiores velocidades com menor consumo de energia. Estudos indicam que a aerodinâmica não apenas influencia a economia de combustível, mas também contribui para a estabilidade, segurança e eficiência geral do veículo (GoDrive, 2023).

Avançando nessa discussão, Yamaue e Hambruch (2019) avaliaram o aperfeiçoamento aerodinâmico em caminhões pesados bitrem e observaram que a redução da distância entre cavalo e carreta, bem como a suavização da geometria frontal da cabine, contribuem significativamente para a diminuição do coeficiente de arrasto, resultando em economia de combustível. A pesquisa também demonstrou que eventuais modificações na legislação brasileira, especialmente quanto ao comprimento total do veículo e à carga permitida no eixo frontal, poderiam proporcionar ganhos operacionais e econômicos no transporte rodoviário de cargas pesadas. De maneira complementar, Salari e Ortega (2021) demonstraram que formas de veículos aerodinamicamente integradas podem alcançar até coeficientes de arrasto negativos em determinadas condições, como em presença de vento cruzado, gerando pressões frontais negativas que “puxam” o veículo para frente, de forma semelhante ao funcionamento de uma vela em embarcações. Essa descoberta,

baseada em medições em túnel de vento e simulações computacionais de dinâmica de fluidos, revela um potencial significativo de redução do arrasto aerodinâmico, o que pode representar uma revolução na eficiência energética de caminhões pesados.

Além das simulações e estudos teóricos, resultados práticos também evidenciam o impacto das melhorias aerodinâmicas. Brusque (2024) destaca que arredondar todas as quatro bordas dianteiras de um caminhão resultou em uma redução de 52% no arrasto aerodinâmico, enquanto a selagem da parte inferior proporcionou mais 7% de redução. Com isso, os engenheiros estimaram uma economia de combustível entre 15% e 25% em velocidades de rodovia. Kilcarr (2005) reforça essa perspectiva ao destacar que, em caminhões pesados, a resistência aerodinâmica representa uma parcela significativa do consumo de combustível, especialmente em altas velocidades. Melhorias no design aerodinâmico, como a adição de defletores e carenagens, podem reduzir o arrasto em até 10,5%, resultando em economias consideráveis. Complementarmente, Silveira (2011) demonstra que a potência necessária para vencer a resistência do ar aumenta com o cubo da velocidade, o que significa que, à medida que o veículo acelera, a força contrária do ar cresce exponencialmente, exigindo mais esforço do motor e comprometendo a eficiência do transporte.

Diante de todas essas evidências, torna-se claro que as características aerodinâmicas dos veículos exercem influência direta na eficiência operacional do transporte rodoviário. Investimentos em melhorias no design, alinhados a possíveis revisões legais e avanços tecnológicos, podem contribuir significativamente para a redução do consumo de combustível e o aumento da competitividade no setor logístico.

2.2.2 Excesso de peso e capacidade operacional

De acordo com Ghisolfi *et al.* (2018), embora o excesso de peso possa aumentar a produtividade, ele contribui para a rápida deterioração das estradas, o que acarreta custos elevados com manutenção frequente. Além disso, o aumento do risco de acidentes pode resultar em bloqueios temporários, prejudicando a velocidade do transporte e comprometendo a eficiência e o fluxo das mercadorias. Bento (2024) ressalta que veículos sobrecarregados operam abaixo de sua capacidade ideal, o que

ocasiona atrasos, compromete a pontualidade e aumenta o consumo de combustível, elevando os custos operacionais. A Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2019) destaca que a sobrecarga não apenas afeta a velocidade, mas também contribui para o desgaste precoce de peças e equipamentos, gerando gastos adicionais desnecessários, como no caso da suspensão do veículo, que absorve os impactos das irregularidades das vias e pode sofrer danos significativos devido ao excesso de carga. Complementando essa perspectiva, Silva (2025) ressalta que o excesso de peso pode provocar o superaquecimento dos freios, reduzindo sua eficiência e aumentando o tempo de frenagem, o que compromete a segurança viária e interfere diretamente na velocidade operacional dos veículos pesados.

Avançando para uma análise mais técnica dos impactos sobre a infraestrutura, estudos recentes reforçam como o excesso de peso influencia negativamente a velocidade do transporte por meio da degradação acelerada dos pavimentos. Réus, Silva Júnior e Fontenele (2016) realizaram simulações empírico-mecanísticas utilizando o software ELSYM5, nas quais quantificaram os efeitos danosos causados pela sobrecarga em veículos comerciais. Os autores demonstraram que o excesso de peso eleva significativamente o Fator de Equivalência de Carga (FEC), intensificando as deformações no pavimento e, por consequência, acelerando sua deterioração. Esse cenário pode levar a restrições de velocidade em trechos danificados, além de aumentar o tempo de manutenção das vias, comprometendo a fluidez do tráfego.

Corroborando com essa abordagem, Costa *et al.* (2021) analisaram os impactos da fiscalização do excesso de peso na rodovia BR-153, no município de Gurupi (TO), e concluíram que a ausência de controle contínuo contribui para a destruição precoce das rodovias. O estudo também evidenciou que a fiscalização efetiva — quando realizada de forma integral e não apenas por amostragem — é fundamental para prolongar a vida útil do pavimento e evitar acidentes, o que resulta em rotas mais seguras e rápidas para o transporte de cargas. Dessa forma, o controle rigoroso do excesso de peso não apenas preserva a infraestrutura viária, mas também influencia diretamente na eficiência logística e na velocidade das operações de transporte.

Portanto, o excesso de peso nos veículos de carga representa um fator crítico que compromete tanto o desempenho operacional quanto a integridade das vias, impactando diretamente a velocidade das operações logísticas. Além dos danos mecânicos e estruturais, os atrasos gerados por condições precárias de tráfego e

riscos à segurança evidenciam a necessidade de ações integradas entre fiscalização, educação e infraestrutura. Medidas preventivas e corretivas, adotadas de forma contínua e estratégica, são essenciais para garantir a durabilidade das rodovias, bem como maior previsibilidade e agilidade no transporte de mercadorias.

2.2.3 Fatores externos e condições de circulação

Além das características dos veículos, fatores externos também desempenham um papel crucial na velocidade do transporte. Guimarães (2021) analisou os fatores que influenciam a velocidade de veículos na cidade de Fortaleza, utilizando dados de fiscalização eletrônica e modelos de regressão múltipla para entender a relação entre variáveis independentes e a variação espacial da velocidade. O estudo concluiu que elementos como o uso do solo, presença de faixas exclusivas e ciclovias, e densidade de semáforos influenciam significativamente a velocidade dos veículos. Esses fatores externos, combinados com as características dos veículos e da carga, moldam o desempenho do transporte rodoviário, destacando a complexidade e a interdependência dos elementos que afetam a velocidade e a eficiência do transporte.

Dados meteorológicos e relacionados à segurança têm sido integrados a análises que buscam compreender o comportamento do tráfego em condições adversas. Caleffi *et al.* (2016), ao analisarem a rodovia BR-290/RS com técnicas de clusterização, identificaram que períodos de chuva causaram uma redução média de aproximadamente 10 km/h na velocidade dos veículos, enquanto incidentes viários levaram a quedas ainda mais expressivas, com velocidades variando entre 10 e 35 km/h. De forma complementar, Cardoso, Assirati e Setti (2019) analisaram a operação de rodovias no estado de São Paulo com base em sensores automáticos de tráfego e dados de precipitação processados por visão computacional, constatando que, embora a velocidade livre e a velocidade na capacidade não tenham sido significativamente afetadas, houve uma redução de cerca de 10% na capacidade da via durante eventos de chuva, evidenciando os impactos operacionais das condições meteorológicas adversas.

Estudos reforçam a importância de considerar a topografia e a geometria viária no planejamento e projeto de rodovias, com o objetivo de otimizar tanto a velocidade quanto a segurança do transporte, especialmente no caso de veículos pesados.

Ejzenberg (2009) analisou o risco de tombamento lateral desses veículos em curvas horizontais com greides descendentes e identificou que os critérios tradicionais de projeto geométrico não garantem segurança suficiente em trechos com raio mínimo. Essa limitação estrutural exige a redução da velocidade operacional, sobretudo em curvas mais fechadas, como forma de prevenção a acidentes. O autor propôs um modelo de projeto que estabelece margens de segurança adequadas e permite definir velocidades compatíveis com a geometria da via, evidenciando como as características do traçado viário impactam diretamente a velocidade do transporte rodoviário de cargas.

Além da geometria da via, é importante considerar também as deformações que surgem ao longo do tempo devido ao tráfego pesado, especialmente nos pavimentos asfálticos flexíveis. Mazurowski (2021) aponta que, com a passagem repetida de veículos, formam-se trilhas de roda — depressões longitudinais permanentes que acompanham as trajetórias dos pneus. Essas deformações tendem a se acentuar com o uso contínuo e podem vir acompanhadas por elevações nas laterais, alterando a regularidade superficial da pista. Em dias de chuva, facilitam o acúmulo de água, reduzindo a aderência dos pneus e aumentando o risco de perda de controle, especialmente em curvas. Esse cenário obriga a redução da velocidade, afetando a eficiência do transporte rodoviário.

Teltayev *et al.* (2024) observam que as trilhas de roda formadas pelo tráfego repetitivo de veículos pesados podem atingir profundidades de até 92 mm em áreas urbanas, afetando diretamente o nivelamento da pista e obrigando os condutores a realizar constantes correções de trajetória. Jia *et al.* (2021) acrescentam que, em velocidades superiores a 100 km/h, essas deformações — mesmo com profundidades acima de 20 mm — comprometem a estabilidade lateral dos veículos, aumentando os riscos de aquaplanagem, perda de controle e frenagens desbalanceadas. Diante disso, torna-se necessário reduzir a velocidade, o que impacta diretamente a fluidez e a eficiência do transporte rodoviário.

Dessa forma, os fatores externos ao veículo e à carga, como o ambiente urbano, as condições meteorológicas, geometria e deformações das vias, exercem influência direta sobre a velocidade operacional no transporte rodoviário. Considerar essas variáveis é essencial para diagnósticos mais precisos, intervenções eficientes e planejamentos que visem à melhoria da fluidez e da segurança nas operações logísticas.

2.3 MÉTODOS DE COLETA DE DADOS DE VELOCIDADE E TEMPO DE VIAGEM

No passado, segundo Hanson (2013), a coleta de dados de velocidade do tráfego e tempo de viagem era realizada por meio de tecnologias de detecção de veículos usadas em aplicativos de sistemas inteligentes de transporte (ITS), como circuitos indutivos, radares, lasers, processamento de imagens em vídeo, diodos emissores de luz, sensores infravermelhos e magnetômetros. Bernardi (2015) complementa ao discutir os sistemas automáticos de identificação veicular, como o reconhecimento de placas (ANPR), ressaltando os custos associados à implementação, manutenção e infraestrutura necessários para sua operação eficiente no Brasil.

Com os avanços tecnológicos, surgiram alternativas mais dinâmicas e econômicas para o monitoramento de tráfego, como o uso de redes sem fio e tecnologias baseadas em sensores Bluetooth, Wi-Fi e redes celulares. Estudos recentes, como o de Yusuf, Rasheed e Lindseth (2025), destacam a eficácia do uso de dados provenientes de redes celulares para estudar padrões de mobilidade urbana, auxiliando no planejamento e na tomada de decisões relacionadas ao transporte urbano. Além disso, Pu *et al.* (2019) indicam que o uso de sensores Bluetooth e Wi-Fi é eficaz na coleta de dados de fluxo de tráfego e informações de origem-destino, proporcionando maior flexibilidade e redução de custos operacionais. Para Fabris, Ceccato e Zanella (2024), a integração de redes de sensores sem fio também tem se mostrado promissora na ampliação da cobertura e na adaptação às necessidades urbanas.

Portanto, as tecnologias modernas de monitoramento de tráfego oferecem soluções mais acessíveis e flexíveis, permitindo uma coleta de dados eficiente e adaptável às demandas urbanas. Essas inovações contribuem significativamente para o planejamento e a gestão do transporte, promovendo decisões embasadas e a melhoria da mobilidade nas cidades.

A seguir, são apresentados os principais métodos de coleta de dados de velocidade e tempo de viagem, com suas características, vantagens e limitações.

2.3.1 Loops de indutância

Os loops de indutância são sensores utilizados em sistemas de transporte inteligente (ITS) para detectar a presença de veículos e estimar velocidades. Segundo Magalhães (2008), estes loops consistem em fios condutores embutidos no pavimento que detectam alterações no campo magnético causadas pela passagem de veículos metálicos. Quando um veículo passa sobre o loop, a mudança na indutância é detectada por um circuito eletrônico, permitindo a identificação da presença do veículo.

Apesar da eficácia na detecção de veículos e na coleta de dados de volume de tráfego, os loops de indutância apresentam limitações importantes. De acordo com Dubois (2023), eles não conseguem diferenciar tipos de usuários da via, como pedestres e ciclistas, nem fornecer informações detalhadas sobre a trajetória ou direção dos veículos, o que reduz sua aplicabilidade em estudos que demandam dados mais granulares sobre o comportamento do tráfego. Almeida (2016) destaca que a necessidade de instalação subterrânea desses sensores gera custos elevados e requer manutenção constante, enquanto Oliveira (2011) acrescenta que a sensibilidade dos loops pode ser prejudicada por condições climáticas adversas e por interferências externas, afetando a precisão na identificação dos veículos.

Buscando superar essas limitações, estudos recentes têm explorado formas de aprimorar a funcionalidade dos loops de indutância. Marszalek *et al.* (2023) propuseram o uso do perfil magnético do veículo (VMP) para estimar a carga de veículos de passageiros em movimento, permitindo a detecção de veículos com excesso de peso, o que pode contribuir para a segurança viária. Os testes de campo demonstraram que o sistema pode estimar a carga com um erro máximo de aproximadamente 30 kg, possibilitando a determinação aproximada do número de passageiros no veículo. Embora esses avanços apontem para a evolução da tecnologia, as limitações estruturais dos loops, como a necessidade de instalação subterrânea e a sensibilidade a condições externas, ainda representam desafios importantes para a sua ampla adoção em sistemas de monitoramento de tráfego mais complexos.

Dessa forma, embora os loops de indutância ainda sejam amplamente utilizados em sistemas de monitoramento de tráfego por sua confiabilidade na

detecção de veículos e medição de volume, suas limitações técnicas e operacionais impõem barreiras ao seu uso em aplicações mais avançadas. As tentativas de aprimoramento, como a incorporação de métodos para estimar a carga dos veículos, demonstram o potencial de evolução da tecnologia, mas não eliminam os desafios estruturais e ambientais envolvidos. Assim, a adoção dessa solução deve ser considerada com cautela, especialmente em contextos que demandam informações detalhadas sobre os diversos usuários da via e condições de tráfego em tempo real.

2.3.2 Detecção por imagem de vídeo

Os sistemas de detecção por imagem de vídeo utilizam câmeras posicionadas acima ou ao lado das vias para capturar imagens em tempo real, as quais são processadas por algoritmos de visão computacional para identificar e rastrear veículos, pedestres e outros objetos de interesse. Segundo Bonneson e Abbas (2003), os sistemas de detecção por vídeo são capazes de fornecer dados detalhados sobre o tráfego, como contagem de veículos, classificação por tipo, velocidade e ocupação de faixas, sem a necessidade de instalação de sensores físicos na via.

Os avanços recentes têm aprimorado significativamente a precisão desses sistemas. Modelos como o YOLO (You Only Look Once) e o DeepSORT têm sido amplamente adotados para detecção e rastreamento de objetos em tempo real, mesmo em condições adversas de iluminação e clima. Por exemplo, Zhu *et al.* (2024) desenvolveram um sistema baseado em vídeos capturados por drones que, utilizando o modelo YOLOv8 e o algoritmo de rastreamento SORT, alcançou uma taxa de precisão de 98,27% na detecção de veículos, com capacidade de processamento em tempo real de 30 quadros por segundo.

Além disso, sistemas de detecção por vídeo têm sido empregados para identificar comportamentos anômalos no tráfego, como veículos na contramão. Rahman, Ami e Ullah (2020) propuseram um sistema que combina o algoritmo YOLO para detecção de veículos com rastreamento por centróide, capaz de identificar em tempo real veículos que trafegam na direção oposta, mesmo sob diferentes condições de iluminação e clima.

Apesar dos avanços, a detecção por imagem de vídeo ainda enfrenta desafios. Segundo Gawande, Hajari e Golhar (2020), entre os principais obstáculos estão as

variações de iluminação, como mudanças entre luz do dia e noite, sombras intensas e reflexos, que podem afetar a precisão dos algoritmos de detecção. Além disso, para Ponn, Kröger e Diermeyer (2020), as condições climáticas adversas, como chuva, neblina e neve, podem degradar significativamente o desempenho dos sistemas de detecção, reduzindo a visibilidade e introduzindo ruídos nas imagens capturadas. Adicionalmente, para Kanhere, Birchfield e Sarasua (2008), a calibração precisa das câmeras é essencial para garantir a acurácia na medição de parâmetros como velocidade e distância; erros nessa etapa podem levar a detecções imprecisas.

Diante desse cenário, os sistemas de detecção por vídeo são uma solução flexível e promissora para o monitoramento de tráfego, oferecendo dados em tempo real sem necessidade de infraestrutura invasiva. A inteligência artificial tem melhorado sua precisão, mesmo em ambientes complexos. Porém, sua eficácia depende da qualidade das imagens, sendo limitada por condições de iluminação e clima. Apesar dos avanços, esses sistemas exigem cuidados na instalação, calibração, processamento e manutenção para alcançar seu potencial em engenharia de tráfego e planejamento urbano.

2.3.3 Radar de micro-ondas

A tecnologia de radar de micro-ondas foi desenvolvida, em parte, como resposta às limitações dos detectores por loop indutivo e dos sistemas de vídeo, os quais enfrentam desafios como instalação intrusiva, manutenção custosa e desempenho comprometido sob condições climáticas adversas. Segundo Medina, Ramezani e Benekohal (2013), os radares de micro-ondas apresentam melhor desempenho em situações de chuva e neve, superando significativamente a degradação observada em sistemas baseados em vídeo.

De acordo com Hanson (2013), esses sensores emitem ondas eletromagnéticas que, ao refletirem nos veículos, permitem identificar sua presença, velocidade e direção de movimento. Por serem dispositivos não intrusivos, instalados acima ou ao lado da via, os radares de micro-ondas facilitam a implementação, reduzem interrupções no tráfego durante a instalação e manutenção, e podem ser configurados para monitorar múltiplas faixas de tráfego simultaneamente — o que os torna especialmente adequados para ambientes urbanos complexos.

Apesar dessas vantagens operacionais, estudos recentes têm buscado aprimorar a precisão dos radares de micro-ondas e mitigar interferências causadas por ruído de fundo, alvos estáticos e sobreposição de sinais em ambientes urbanos complexos. Liu *et al.* (2023) desenvolveram o Radar-STDA, um autoencoder espaço-temporal voltado à redução de ruído em dados obtidos por radares FMCW, o que melhora significativamente a capacidade de distinguir alvos móveis reais de interferências espúrias. Gao, Roy e Zhang (2024) propuseram um algoritmo de remoção de fundo estático, que aumenta a clareza do sinal refletido ao eliminar informações irrelevantes do ambiente fixo, tornando a detecção de veículos em movimento mais confiável. Já Perotoni *et al.* (2023) demonstraram o uso de radares de banda ultra-larga em conjunto com redes neurais para classificar veículos com alta precisão, mesmo em cenários com múltiplos veículos próximos, reduzindo ambiguidades na identificação de tipo e posição dos alvos. Esses avanços contribuem para maior confiabilidade operacional em vias urbanas densas, onde há múltiplas fontes de ruído e objetos interferentes.

Apesar das vantagens, esses radares ainda enfrentam desafios, como a suscetibilidade à interferência mútua em áreas urbanas densamente equipadas com múltiplos dispositivos operando na mesma faixa de frequência. Esmailbeig, Bose e Soltanian (2023) abordaram essa questão ao propor técnicas de mitigação de interferência em radares automotivos PMCW, promovendo melhor desempenho na detecção sem exigir grandes mudanças na infraestrutura existente.

Logo, os radares de micro-ondas representam uma solução robusta e versátil para sistemas de transporte inteligente, com ampla aplicabilidade e capacidade de operação em diferentes condições climáticas. No entanto, para garantir sua eficácia e confiabilidade, especialmente em ambientes urbanos complexos, é fundamental considerar as limitações técnicas e investir em estratégias de mitigação e integração tecnológica.

2.3.4 Monitoramento por veículos de sonda

A coleta de dados de tráfego por meio de veículos equipados com GPS tem se consolidado como uma alternativa eficiente aos sensores fixos tradicionais. Segundo Zhang *et al.* (2014), esses veículos atuam como sensores móveis e permitem uma

cobertura dinâmica e contínua da malha viária, sendo especialmente úteis em locais onde sensores fixos não são viáveis economicamente. Os autores destacam ainda que os dados obtidos por veículos de sonda são eficazes para a estimativa de velocidade média e densidade de tráfego em tempo real.

Complementando essa perspectiva, Nanthawichit, Nakatsuji e Suzuki (2003) propuseram um método que integra dados de veículos de sonda com dados de detectores fixos utilizando o filtro de Kalman, representando as equações de estado por um modelo macroscópico de fluxo de tráfego. Os resultados experimentais mostraram que essa abordagem melhora significativamente a precisão da estimativa do estado do tráfego em tempo real, mesmo em condições de tráfego variadas.

De acordo com o relatório da National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2021), as principais vantagens dessa tecnologia incluem a ampla cobertura geográfica, a possibilidade de atualização constante das condições de tráfego e sua aplicação em ações como a gestão de congestionamentos e resposta rápida a incidentes viários. O relatório também ressalta que, para os dados serem realmente úteis, é essencial empregar algoritmos robustos capazes de processar grandes volumes de informação, filtrando ruídos e inconsistências.

No entanto, Feng, Hourdos e Davis (2014) apontam que a efetividade desse sistema depende fortemente da densidade da amostragem, ou seja, da quantidade de veículos equipados transmitindo dados, e da frequência das atualizações. Já o relatório da National Academies enfatiza, além dessas limitações, a existência de desafios técnicos, como a estabilidade na transmissão de dados e a necessidade de proteger a privacidade dos usuários. Além disso, o relatório da National Academies of Sciences, Engineering and Medicine (2021) aponta limitações técnicas, como a necessidade de algoritmos avançados para o tratamento de ruídos e a extração de dados relevantes, bem como preocupações com a privacidade dos usuários. Ainda assim, a integração desses dados com sistemas de transporte inteligentes amplia significativamente a capacidade de monitoramento em tempo real.

Portanto, a coleta de dados por veículos com GPS representa um avanço no monitoramento das vias urbanas, oferecendo maior cobertura e análises em tempo real, além de ser menos invasiva que sensores fixos. Com o uso de algoritmos avançados, é possível extrair informações relevantes mesmo com grandes volumes de dados. Contudo, sua eficácia depende da densidade de veículos equipados, qualidade da transmissão e proteção da privacidade. Apesar dos desafios, essa

tecnologia amplia as possibilidades de gestão e planejamento viário, tornando-se uma ferramenta estratégica para sistemas de transporte inteligentes.

2.3.5 Coleta baseada em beacon

Segundo Spachos e Plataniotis (2020), os beacons BLE são pequenos transmissores de baixo custo e consumo energético, capazes de emitir sinais a intervalos regulares, permitindo a detecção e rastreamento de dispositivos móveis em tempo real. Essa característica os torna particularmente úteis em ambientes urbanos, onde a infraestrutura de sensores fixos pode ser limitada ou economicamente inviável. Faragher e Harle (2015) complementam que os beacons oferecem uma solução precisa para posicionamento em ambientes fechados e sem linha de visão direta, com erro de localização inferior ao do GPS em certos contextos urbanos. Os autores também ressaltam o potencial da tecnologia para aplicação em transportes, por meio da identificação anônima de dispositivos presentes em veículos, possibilitando a inferência de padrões de deslocamento.

Klinkusoom, Aswakul e Janpugdee (2014) desenvolveram sensores Bluetooth para detectar dispositivos presentes em veículos, coletando dados como tempo de viagem e velocidade média. Esses sensores foram testados em seções viárias de Bangkok, demonstrando a viabilidade da tecnologia para monitoramento de tráfego veicular. Zahnow e Abewickrema (2023) analisaram dados de scanners Bluetooth obtidos em três regiões urbanas distintas ao longo de seis meses. O estudo identificou padrões de deslocamento dos usuários, destacando a eficácia da tecnologia na detecção de movimentos, mesmo em cenários com múltiplos usuários e interferência de sinais.

Entretanto, a coleta baseada em beacons também apresenta desafios. Echizenya e Kondo (2021) destacam que a precisão da estimativa de posição e direção do movimento com beacons BLE melhora significativamente com o aumento do número de transmissores, sendo essencial uma instalação esparsa e uniforme para maximizar a confiabilidade do sistema em ambientes fechados. Mackey *et al.* (2020) observam que fatores como interferência de sinal e variações ambientais podem impactar a precisão dos dados obtidos via BLE, sendo necessário o desenvolvimento de técnicas de filtragem, como filtros de Kalman e partículas, para mitigar esses

efeitos. Ainda assim, quando integrada a outros sistemas inteligentes de transporte, a tecnologia beacon representa uma solução promissora para monitoramento contínuo e em tempo real do tráfego urbano.

Logo, a tecnologia de beacons BLE surge como uma alternativa promissora para monitorar o tráfego em tempo real, especialmente em áreas urbanas com limitações para sensores fixos. Seu baixo custo e consumo, somados à detecção anônima de dispositivos, permitem rastrear deslocamentos e identificar padrões de mobilidade. Apesar de desafios como interferência de sinais e necessidade de boa distribuição dos transmissores, técnicas de filtragem e integração com outros sistemas ampliam sua eficácia. Com isso, os beacons BLE se destacam como uma ferramenta útil na gestão inteligente da mobilidade urbana.

2.3.6 Rastreamento de celulares

Zandbergen (2009) explica que o rastreamento de celulares se baseia principalmente na triangulação de sinais entre torres de telefonia móvel, permitindo estimar a posição de um dispositivo com base na sua conexão a múltiplas antenas. Essa técnica, embora amplamente utilizada, pode apresentar variações na precisão, especialmente em regiões com menor densidade de infraestrutura. O autor observa que a integração com tecnologias complementares, como GPS e redes Wi-Fi, aumenta significativamente a acurácia das localizações obtidas, tornando esses dados mais úteis para aplicações em planejamento urbano e mobilidade.

Viotti (2021) ressalta que os dados de telefonia móvel, obtidos de forma passiva e agregada, têm sido empregados para mapear padrões de deslocamento populacional em tempo real, viabilizando análises de origem e destino em larga escala. Rodrigues *et al.* (2018), ao analisarem a mobilidade urbana no estado do Rio de Janeiro com base em dados de telefonia móvel combinados com informações demográficas, demonstraram que diferentes estratos sociais apresentam padrões distintos de deslocamento, evidenciando o potencial desses dados para análises socioespaciais e para o planejamento de políticas públicas mais eficazes. Araújo (2014), ao utilizar a metodologia de Erlang, demonstrou que há maior precisão na estimativa dos deslocamentos quando há um volume elevado de veículos em

circulação, reforçando a confiabilidade dos dados móveis em contextos urbanos dinâmicos.

De Montjoye, Verleysen e Blondel (2013) advertem que, embora o rastreamento de celulares proporcione benefícios consideráveis, ele também levanta sérias preocupações éticas. Os autores apontam que, mesmo quando anonimizados, os dados de localização podem permitir a reidentificação de indivíduos, dependendo do nível de granularidade e frequência de coleta. Diante disso, defendem o uso de técnicas rigorosas de anonimização e agregação para mitigar riscos à privacidade. Em complemento, a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (Brasil, 2018) estabelece princípios como finalidade, necessidade e transparência para o tratamento de informações pessoais, incluindo aquelas relativas à localização, reforçando a importância de práticas seguras e responsáveis no uso desses dados.

Diante do exposto, o rastreamento de celulares por triangulação de sinais entre torres é uma ferramenta eficaz para monitorar fluxos populacionais e planejar áreas urbanas. Integrado ao GPS e Wi-Fi, melhora a precisão, especialmente em cidades densas. A coleta passiva e agregada desses dados ajuda a identificar padrões de mobilidade e desigualdades, auxiliando políticas públicas. Contudo, é necessário cuidado com a privacidade, pois dados anonimizados podem permitir reidentificação. Por isso, é essencial aplicar proteção de dados e seguir leis como a LGPD. Usado com responsabilidade, esse rastreamento é uma ferramenta estratégica para a gestão urbana.

2.3.7 Rastreamento por satélite (GPS/Galileo)

Segundo Oliveira, Silva e Santana (2020), o Sistema de Posicionamento Global (Global Positioning System – GPS), como o Garmin Etrex 20, opera por meio da recepção de sinais de satélites para determinar coordenadas geográficas, sendo uma das tecnologias mais populares para mapeamento rápido. Setti Júnior *et al.* (2020) destacam que os Sistemas Globais de Navegação por Satélite (Global Navigation Satellite Systems – GNSS) oferecem variações mais avançadas, como o Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) e o posicionamento relativo em redes, que permitem precisão centimétrica ou milimétrica, essenciais em levantamentos topográficos de alta exatidão.

Conforme Santana *et al.* (2019), a popularização de smartphones com sensores GPS permite o uso desses dispositivos para levantamentos com boa precisão em áreas pequenas, oferecendo uma solução de baixo custo. Para Setti Júnior *et al.* (2020), o GNSS diferencial é vantajoso por minimizar erros comuns ao GPS autônomo, sendo amplamente aplicado na agricultura de precisão, engenharia civil e estudos ambientais. Souza (2024) afirma que o cruzamento desses dados com outras fontes — como sensores ambientais, redes sociais e dados administrativos — torna o Big Data uma ferramenta poderosa para análise espacial em larga escala, permitindo diagnósticos mais completos e decisões mais rápidas.

Souza, Cruz e Richter (2014) destacam que o monitoramento de frotas no Brasil passou a utilizar geotecnologias baseadas em sistemas GNSS, com destaque para a adoção do GPS como ferramenta de localização e controle dos veículos. Esse uso tem contribuído para ampliar o monitoramento em tempo real das frotas veiculares, promovendo maior controle e eficiência nos sistemas de transporte urbano.

Além dos sistemas mais tradicionais, como o GPS norte-americano, o sistema europeu Galileo tem se consolidado como uma importante alternativa no cenário global. Segundo Silva *et al.* (2020), o Galileo representa a primeira contribuição civil ao GNSS, sendo desenvolvido de forma independente e interoperável com os demais sistemas, como o GPS. Com transmissão de sinais em múltiplas frequências e serviços específicos de alta acurácia, busca e resgate, o Galileo tem demonstrado resultados comparáveis ao GPS em termos de posicionamento por ponto simples, oferecendo maior robustez e cobertura aos usuários que utilizam sistemas combinados.

Entretanto, para Oliveira, Silva e Santana (2020), o uso de receptores GPS convencionais apresenta limitações importantes, como variações de sinal causadas por vegetação, edificações ou condições climáticas, o que impacta diretamente na confiabilidade das medidas. Segundo Santana *et al.* (2019), há também grande variação entre os dispositivos móveis utilizados, o que pode comprometer a uniformidade da base de dados em levantamentos participativos.

Além disso, a coleta e o uso de dados geoespaciais demandam cuidados especiais quanto à privacidade, para garantir o respeito aos direitos dos indivíduos envolvidos. Como alerta Souza (2024), sem uma regulação clara, o uso de Big Data geoespacial pode implicar em vigilância indevida e decisões enviesadas, exigindo transparência sobre a forma de coleta, tratamento e finalidade dos dados.

Dessa forma, tecnologias como GPS e GNSS são amplamente usadas na coleta de dados espaciais, variando de levantamentos simples com smartphones a medições de alta precisão com métodos como PPP. Sistemas como o Galileo reforçam a confiabilidade do posicionamento global. Essas tecnologias têm aplicações em transporte, engenharia e agricultura, além de viabilizar análises avançadas quando integradas ao Big Data. No entanto, ainda enfrentam limitações técnicas, como interferência de sinal, e exigem cuidados com a privacidade e o uso ético dos dados geoespaciais.

2.4 APLICATIVOS DE NAVEGAÇÃO POR GPS

Segundo Cássia (2024), a introdução do GPS revolucionou a navegação e a comunicação dos motoristas, substituindo mapas de papel por sistemas digitais que oferecem instruções de voz, rotas alternativas em tempo real e alerta sobre condições climáticas e de trânsito. Essas inovações aumentaram a eficiência, a segurança e a fluidez no tráfego, transformando-o em uma rede dinâmica e mais segura. Neste contexto, a pesquisa de Françoso e Mello (2016), que analisou 312 respostas, revelou que o Google Maps e o Waze são os aplicativos mais utilizados para transporte urbano, com 92% e 97% de adesão, respectivamente.

Aplicativos de navegação, como o Waze, utilizam dados obtidos automaticamente, além de informações colaborativas fornecidas pelos usuários, para monitorar o trânsito em tempo real. De forma passiva, os dispositivos registram dados de GPS, como localização e velocidade, enquanto os motoristas trafegam com o aplicativo ligado (Google Support, 2025). Segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2018), o Waze se destaca por sua abordagem colaborativa, permitindo que os usuários forneçam informações sobre acidentes, bloqueios e condições das vias. Combinando essas contribuições com dados de GPS e inteligência artificial, o aplicativo otimiza rotas em tempo real, ajustando-se às mudanças do trânsito e melhorando a experiência de navegação. Essa integração viabiliza uma navegação mais eficiente, antecipando problemas e oferecendo soluções rápidas para evitar congestionamentos e reduzir o tempo de viagem.

De acordo com Lau (2020), o Google Maps utiliza dados de tráfego em tempo real e históricos para prever o trânsito e recomendar rotas eficientes. Parcerias com a

DeepMind aprimoraram a precisão das previsões, enquanto fatores como qualidade das vias, dados das autoridades e informações dos usuários permitem ajustes automáticos nas rotas, evitando congestionamentos e oferecendo caminhos mais rápidos e seguros. Segundo Souza *et al.* (2019), com o Google Maps é possível traçar rotas com até 10 paradas, garantindo maior controle na definição dos trajetos. Já o Waze possui uma limitação para apenas uma parada entre o ponto de partida e o destino, dificultando a otimização em situações que requerem múltiplas paradas e análise contínua. O Google Maps também permite simulações ao longo de vários dias, fornecendo dados como distância percorrida e tempo gasto.

Hoseinzadeh *et al.* (2020) avaliaram a qualidade dos dados de velocidade do Waze, comparando-os com dados de Bluetooth, considerados base de referência. Os resultados indicaram que os dados do Waze apresentam qualidade aceitável em ruas de superfície, com erros médios inferiores a 10% durante horários de pico, embora a precisão diminua à noite. Fatores como volume de tráfego, comprimento do segmento e horário foram identificados como influentes na qualidade dos dados. Métodos avançados de análise mostraram que aumentar o número de usuários pode melhorar ainda mais a confiabilidade, tornando esses dados uma ferramenta promissora para o planejamento de transporte em cidades inteligentes.

Portanto, os aplicativos de navegação por GPS se destacam como fontes de coleta e análise de dados, utilizando informações de localização, velocidade e condições das vias, compartilhadas automaticamente pelos motoristas e em tempo real pelos usuários. Estes dados, combinados a padrões históricos e tecnologias de inteligência artificial, permitem que os aplicativos ofereçam rotas otimizadas, tempos de percurso, antecipem problemas no trânsito e ajustem trajetos para melhorar a eficiência e segurança nas viagens.

2.5 ESTUDOS REALIZADOS COM USO DE FERRAMENTAS DE NAVEGAÇÃO

O uso de aplicativos de navegação, como Google Maps e Waze, tem sido amplamente explorado em pesquisas acadêmicas para diferentes finalidades. Angiolis (2022) realizou uma análise comparativa dos custos operacionais de veículos de carga em rotas urbanas de Manaus, com o objetivo de identificar a rota mais econômica entre a Avenida Rodrigo Otávio e o Rodoanel de Manaus. Utilizou-se a

plataforma Google Maps para traçar rotas e coletar dados como distância, tempo de viagem e características do relevo. A coleta ocorreu ao longo de sete dias, em intervalos de uma hora, para captar o comportamento do tráfego. Usando o Problema de Roteamento de Veículos Dependente de Tempo (PRVDT) e o Método de Clarke & Wright, concluiu-se que a rota pela Avenida Rodrigo Otávio foi a mais eficiente, embora essa conclusão dependa do ponto de partida analisado.

O estudo realizado por Thieghi (2021) teve como objetivo aplicar conceitos de cálculo integral no ensino prático. Para isso, os participantes utilizaram o Waze para coletar dados de velocidade em função do tempo durante um percurso. Esses dados serviram de base para o cálculo da distância percorrida, por meio da aplicação da integral definida. O método permitiu uma abordagem mais interativa e prática para compreender conceitos matemáticos, mostrando-se eficaz no aprendizado dos alunos.

Souza *et al.* (2019) realizaram uma pesquisa com a finalidade de otimizar as rotas logísticas de uma indústria do ramo alimentício. O estudo utilizou o Google Maps para acessar dados de distância e tempo de viagem entre pontos de entrega, que foram processados por algoritmos heurísticos, como o *Nearest Neighbour* e o método de Clarke & Wright. Como resultado, as rotas otimizadas reduziram em cerca de 25% os custos operacionais em comparação às rotas convencionais.

Além disso, Goldstein (2018) propôs a otimização das rotas de entrega de uma indústria de cimento, utilizando métodos heurísticos e o Google Maps para calcular distâncias entre cidades. O modelo desenvolvido reduziu significativamente os custos operacionais, com uma economia de cerca de R\$ 149.250,00 ao ano em frete morto. Além disso, o uso do Google Maps permitiu a criação de uma matriz de distâncias, facilitando a simulação e análise das rotas, o que contribuiu para melhorias no nível de atendimento ao cliente e eficiência operacional.

Dessa forma, o uso de aplicativos de navegação como Google Maps e Waze tem sido amplamente explorado em pesquisas acadêmicas para diversas finalidades. Estudos demonstram como essas ferramentas são úteis para otimizar rotas, reduzir custos operacionais e aprimorar a eficiência logística. A coleta de dados, como distância, tempo e características de tráfego, permite análises detalhadas que contribuem para decisões mais informadas e eficazes. A integração de métodos heurísticos com aplicativos de navegação tem mostrado resultados promissores no melhoramento das operações e na entrega de serviços mais eficientes.

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa adota uma abordagem quantitativa, conforme definida por Mineiro, Silva e Ferreira (2022), que se caracteriza pelo uso de técnicas estatísticas e instrumentos padronizados para coleta e análise de dados, com o objetivo de mensurar fenômenos e identificar padrões ou generalizações a partir de informações numéricas. Para Gomes e Martins (2022), os dados obtidos podem ser classificados em primários, sendo informações coletadas diretamente para uma pesquisa específica, e os secundários, os quais são informações já existentes, coletadas para outros fins e usadas para embasar ou contextualizar a pesquisa atual.

O presente estudo aplica ambas as formas para obtenção dos dados: primária e secundária. A primária é baseada em um levantamento de dados e entrevistas e a secundária em uma revisão da literatura existente sobre o tema, visando proporcionar mais informações, a fim de obter uma compreensão sólida do contexto e dos desafios existentes.

Além disso, a metodologia envolve duas análises complementares: a primeira será a análise de correlação, onde será utilizado o coeficiente de correlação linear para avaliar a relação entre o número de semirreboques e o tempo de percurso. Já a segunda consiste em uma análise comparativa, em que se compara o tempo de percurso nos horários de maior e menor percentual de presença de semirreboques na rota, visando identificar diferenças significativas e avaliar o impacto no fluxo viário.

Os processos se dividem nos seguintes tópicos:

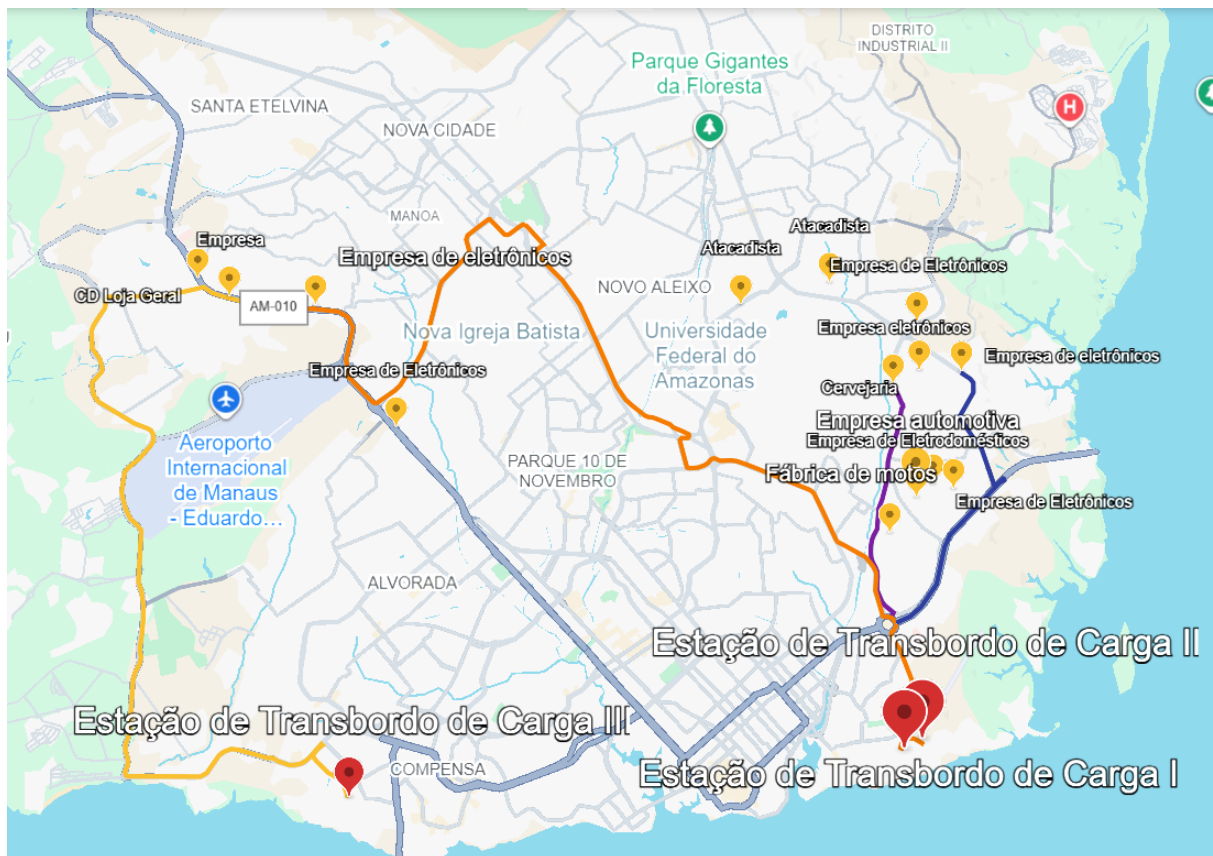
1. Identificação das estações de transbordo de carga em Manaus: o primeiro passo foi a coleta de informações detalhadas sobre a localização geográfica das Estações de Transbordo de Carga da cidade. Esses dados serviram como base para identificar rotas de transporte e analisar os impactos no trânsito.
2. Identificação de empresas e dinâmica do transporte aquaviário: foram identificadas as empresas que operam no transporte aquaviário com uso de semirreboques, bem como suas frotas, balsas e volumes de movimentação por terminal, dia e hora. Essa etapa incluiu:

- a) Consulta à base de dados da ANTAQ;
 - b) Entrevistas com profissionais da Empresa de Transporte A (responsável pela Estação de Transbordo A), sendo ambas denominadas desta forma para preservar o sigilo;
 - c) Levantamento da média mensal e diária do ano de 2024 para compreender a dinâmica de movimentação de semirreboques nos terminais.
 - d) Como etapa complementar e de validação dos resultados obtidos, foi incorporada a análise do mês de outubro de 2025, selecionado por representar um período de elevada movimentação de semirreboques, conforme indicado pela empresa entrevistada; para essa análise adicional, foram consideradas quatro semanas completas de operação, totalizando 20 dias úteis (de segunda a sexta-feira), concentrando-se nos dias com maior intensidade das movimentações logísticas; o conjunto de dados foi disponibilizado diretamente pela empresa entrevistada, incluindo registros de horários de saída, destinos e horários de chegada aos clientes, e tratado segundo os mesmos critérios metodológicos adotados para o ano de 2024, de modo a assegurar a comparabilidade entre os períodos analisados.
3. Identificação dos clientes do comércio e indústria: a partir da entrevista com a Empresa de Transporte A foi possível identificar os principais clientes da indústria e do comércio na região de estudo. Essa etapa buscou compreender as relações entre os pontos de origem e destino das cargas, contribuindo para o traçado das rotas.
4. Traçado das rotas principais: utilizando o Google Earth, foram traçadas as principais rotas de transporte entre as Estações de Transbordo de Carga e os clientes identificados. Posteriormente, foi realizada a coleta dos dados de tempo de percurso com o auxílio do Google Maps. Essa etapa envolveu:
- a) Comparação entre o tempo de percurso estimado pelo Google Maps e o registrado pelo GPS do cavalo mecânico com semirreboque, visando validar os dados fornecidos pela plataforma.
 - b) Coleta de tempos de percurso e distâncias estimadas.

- c) Registro dos dados em intervalos de 1 hora, entre 6h e 21h, ao longo de 5 dias consecutivos, de segunda a sexta-feira, dias em que há maior número de operações;
- d) Cálculo da mediana dos tempos de viagem para cada rota.

A seguir, apresenta-se o mapeamento preliminar das possíveis rotas de transporte de semirreboques, das Estações de Transbordo de Carga e dos respectivos clientes atendidos na cidade de Manaus. Esse mapeamento constituiu a primeira versão elaborada e apresentada à Empresa de Transporte A, servindo como base para discussões e ajustes posteriores.

Figura 1 – Mapeamento preliminar para posterior ajustes e validação.



Fonte: Elaborado pela autora.

O Quadro 1 apresenta-se as informações detalhadas das vias percorridas de cada rota traçada no mapeamento (Figura 1), facilitando o entendimento dos trajetos. As rotas foram organizadas por cores, correspondentes às demarcações visuais do mapa.

Quadro 1 – Detalhamento das rotas preliminares.

Rotas	Cor	Vias Percorridas
Rota 1	Roxo	Avenida Rodrigo Otávio e Avenida Buriti.
Rota 2	Azul	Avenida Rodrigo Otávio, BR-319, Avenida Guaruba, Avenida Solimões e Avenida Autaz Mirim.
Rota 3	Laranjada	Avenida Rodrigo Otávio, Rua Rio Preto, Avenida das Torres, Avenida Timbiras, Avenida Max Teixeira e Avenida Torquato Tapajós.
Rota 4	Amarela	Avenida Coronel Texeira, Avenida do Turismo, Avenida Dona Otília e Avenida Torquato Tapajós.

Fonte: Elaborado pela autora.

5. Validação das rotas com as empresas de transporte: houve contato com a Empresa de Transporte A para verificar se as rotas traçadas correspondiam às operações reais. A partir das contribuições da empresa, foram realizadas correções e validações que resultaram no mapeamento final, utilizado nas análises deste estudo e apresentado na Figura 4, no tópico de Análises dos Resultados.
6. Relacionamento das principais rotas: após a validação junto à Empresa de Transporte A, foram mantidas as rotas confirmadas como representativas das operações reais. Essas rotas, consideradas as principais no transporte de semirreboques da Empresa, foram selecionadas para as análises deste estudo, levando em conta sua frequência de uso, acessibilidade e relevância operacional dentro da malha urbana.
7. Alocação de movimentação de semirreboques: os dados de movimentação de semirreboques foram atribuídos às rotas identificadas, determinando o volume de veículos por via e por horário. Essa etapa ajudou a compreender a distribuição do tráfego na região.
8. Avaliação do impacto no trânsito local: o impacto do transporte de semirreboques no trânsito foi avaliado correlacionando o volume de tráfego com as condições de trânsito. Os dados foram obtidos via Google Maps, em diferentes horários e dias, e analisados estatisticamente utilizando o Coeficiente de Correlação Linear. Este método permitiu identificar se havia

relação significativa entre a presença de semirreboques e o desempenho do tráfego.

9. Comparativo entre horários de pico e fora de pico: os dados coletados foram organizados para comparar o desempenho viário nos diferentes horários. Essa análise incluiu:
 - a) Identificação dos horários com maior e menor percentual de presença de semirreboques na rota, e horários de pico viário.
 - b) Cálculo da diferença percentual no tempo de percurso.
 - c) Avaliação comparativa entre os horários com maior e menor percentual de movimentações de semirreboques nas rotas, bem como entre os períodos de pico e fora de pico viário, a fim de identificar variações nos tempos de percurso e os possíveis efeitos do fluxo logístico sobre a fluidez do tráfego.

10. Discussão e interpretação: a etapa final integrou os resultados das análises estatísticas e comparativas para compreender como os semirreboques afetam o tráfego. Foram discutidos:
 - a) Diferenças no desempenho viário entre os horários analisados.
 - b) Relações significativas identificadas na correlação entre volume de semirreboques e condições de trânsito.
 - c) Avaliação para identificar se há gargalos operacionais causados pela interação de semirreboques com o fluxo geral.

A escolha do uso de aplicativos de navegação por GPS nesta metodologia, associados ao rastreamento via satélite, fundamenta-se nos conceitos discutidos na revisão de literatura, que abordou tanto o funcionamento técnico desses sistemas de posicionamento (GPS/Galileo) quanto sua aplicação prática em ferramentas de navegação, como o Google Maps. Tais recursos têm se mostrado eficazes para a obtenção de dados de tempo de percurso e deslocamento, permitindo análises georreferenciadas com boa precisão e ampla aplicabilidade. No presente estudo, a adoção desse método atendeu não apenas ao objetivo de mensurar e comparar os tempos de percurso entre as Estações de Transbordo de Carga e seus destinos

principais, mas também ao critério de viabilidade e acessibilidade dos dados, visto que essas tecnologias são amplamente utilizadas por empresas de transporte e usuários em geral. Dessa forma, ainda que a pesquisa reconheça diversos métodos de rastreamento, como o uso de sensores, beacons ou sistemas integrados de tráfego, optou-se por uma abordagem compatível com a realidade operacional local e com a disponibilidade de dados, assegurando a viabilidade técnica e a representatividade dos resultados obtidos.

4 ANÁLISES DOS RESULTADOS

A primeira parte da coleta de dados foi realizada por meio de uma entrevista presencial com o Assistente da Presidência da Empresa de Transportes A, também responsável pela Estação de Transbordo de Carga A, que teve duração de aproximadamente 1 hora. Assim como no restante da pesquisa, todas as empresas envolvidas receberam nomes fictícios para garantir a confidencialidade. Durante a entrevista, o representante detalhou a operação de semirreboques na cidade, abordando aspectos logísticos, a frota utilizada, a distribuição das cargas, as principais rotas percorridas e os desafios enfrentados na operação, além de compartilhar perspectivas sobre o setor.

4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS COM A EMPRESA DE TRANSPORTE A

O representante da empresa de transportes A explicou que a operação com semirreboques é mais ágil do que com contêineres, pois elimina etapas burocráticas. Assim que a carga é colocada na carreta, segue para a balsa no mesmo dia ou no dia seguinte. Durante a seca, o transporte por carretas se torna ainda mais viável. Com a futura construção da BR-319, a competitividade do transporte rodoviário pode aumentar, reduzindo prazos de entrega. A empresa opera com cerca de 1.800 semirreboques e 600 caminhões, além de contar com terceirizados. Sua frota de balsas inclui 400 unidades, sendo 28 usadas para carretas, realizando 28 viagens semanais, com transporte médio de 35 carretas por balsa. A movimentação anual atinge mais de 10 mil carretas, com maior volume entre agosto e novembro.

Os terminais de transbordo estão localizados em Manaus, Santarém, Belém e Macapá, sendo que Macapá é abastecida via Belém. Atualmente, há mais carga passando por Santarém do que por Belém. Em Manaus, os principais destinos incluem o Centro, Zona Leste, Distrito Industrial, Av. Torquato Tapajós e a área da “Manaus Moderna”, transportando produtos como pneus, alimentos e eletrodomésticos, majoritariamente para consumo interno, abastecendo o comércio e a indústria local, sendo transportados em semirreboques ou cargas fracionadas.

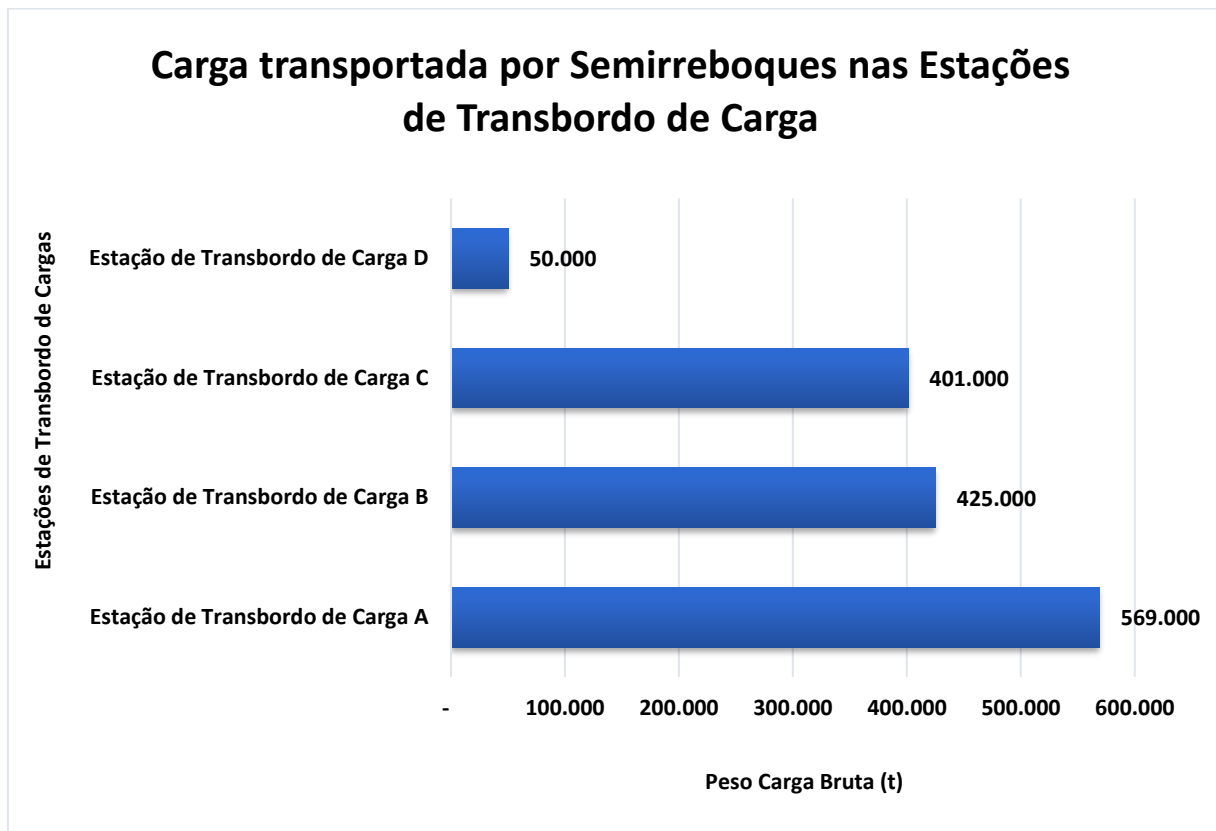
O recebimento de cargas fracionadas varia conforme a disponibilidade das balsas. Em dias favoráveis, chegam até 11 carretas por dia, enquanto em condições adversas esse número pode cair para 3. A média diária fica entre 7 e 8 carretas. O embarque de carga fracionada ocorre principalmente no período noturno, com maior movimentação nos finais de semana. Aos sábados, a média de embarques é de 12 carretas. A importação de cargas ocorre diariamente, com a descarga realizada assim que a mercadoria chega.

A maior movimentação de semirreboques se concentra na Av. Torquato Tapajós e no Distrito Industrial, enquanto em outros destinos, muitas cargas são fracionadas, e devido ao difícil acesso nestas áreas, as entregas nestes locais são realizadas por caminhões menores. A operação diária envolve de 24 a 28 coletas, podendo chegar a 45 no pico. Há desafios na logística de carretas vazias, como a necessidade de manutenção. Os principais clientes incluem uma fabricante de produtos químicos e adesivos, uma fabricante de pneus, uma fabricante de eletrodomésticos, uma fabricante de eletrônicos, uma montadora de motocicletas e uma fabricante de eletroportáteis, com destaque para empresas que operam B-Train, como a montadora de motocicletas e a fabricante de produtos químicos e adesivos. As entregas atendem distribuidores, lojas e indústrias, incluindo uma rede de varejo de eletrodomésticos, um hipermercado e uma fabricante multinacional de eletrodomésticos de linha branca. A Zona Leste tem alta demanda, enquanto o centro da cidade é evitado devido à dificuldade de acesso.

Com base nas informações fornecidas pela Empresa de Transporte A, foi possível comparar esses dados com estatísticas oficiais da ANTAQ, bem como realizar estimativas de conversão para unidades de semirreboques.

A Figura 2 apresenta a movimentação total anual de semirreboques em 2024, em peso de carga bruta (t), considerando as quatro empresas que mais operam em Manaus, segundo dados da ANTAQ. Observa-se que a Estação de Transbordo de Carga A lidera o volume movimentado, com 569.000t, seguida pela Estação de Transbordo de Carga B (425.000t), Estação de Transbordo de Carga C (401.000t) e Estação de Transbordo de Carga D (50.000t). Esses valores fornecem uma visão comparativa do porte operacional de cada operadora.

Figura 2 – Movimentação total anual da carga transportada por semirreboques nas estações de transbordo de carga que mais operam em Manaus.

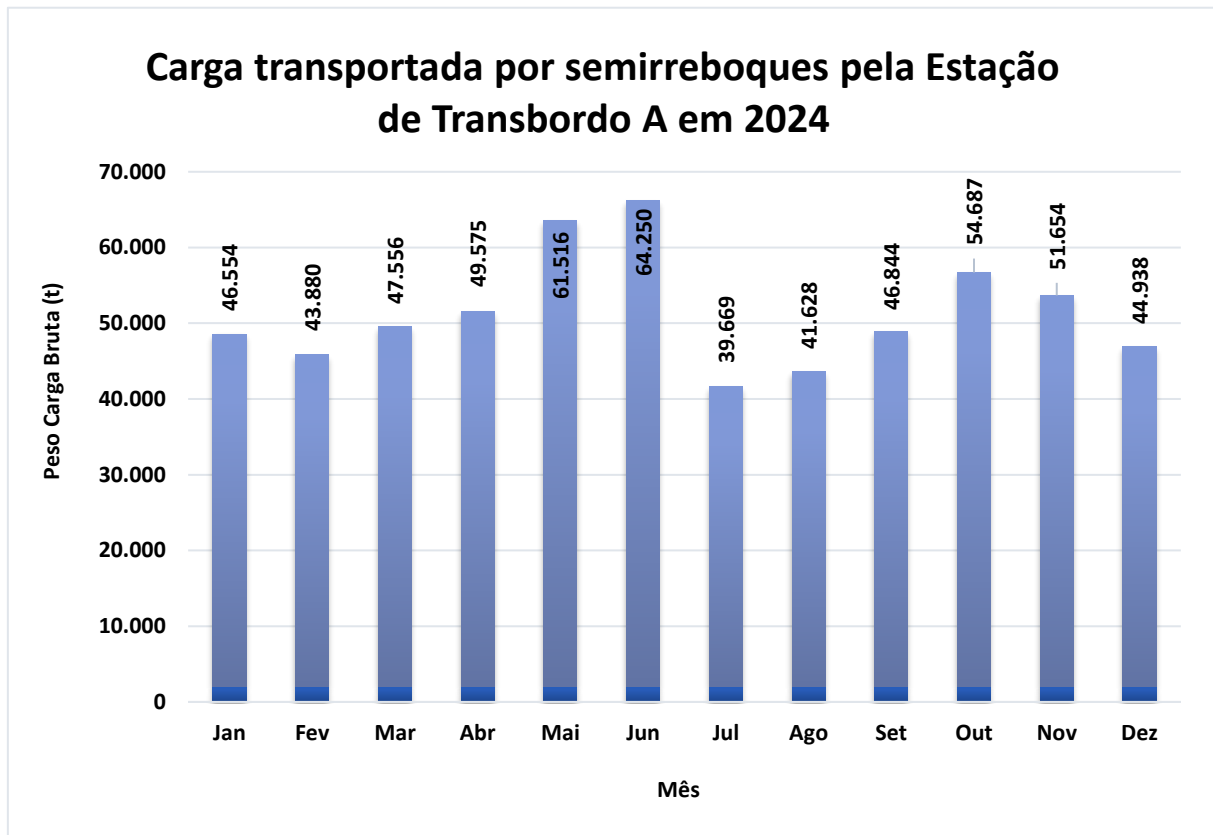


Fonte: ANTAQ (2025).

Os dados evidenciam claramente a predominância da Estação de Transbordo de Carga A na movimentação total, representando o maior fluxo anual entre as estações analisadas. Essa informação é útil para contextualizar a escala de operação.

A Figura 3 apresenta a movimentação da Estação de Transbordo de Carga A em peso bruto (t), segundo dados da ANTAQ para o ano de 2024. Essa base de dados oficial reúne as informações consolidadas de movimentação portuária e possibilita observar o volume total transportado na estação ao longo do período anual.

Figura 3 – Carga movimentada pela Estação de Transbordo de Carga A em 2024.



Fonte: ANTAQ (2025).

Para estimar a movimentação em unidades, foi realizada a conversão considerando a capacidade média de carga estipulada pela própria Empresa de Transporte A, que definiu 27 toneladas como referência para um semirreboque. Assim, o total de 569.000 toneladas registrado pela ANTAQ corresponderia a aproximadamente 21.074 unidades. Esse valor foi utilizado como parâmetro de comparação com os dados disponibilizados pela empresa.

A Tabela 1 demonstra a movimentação registrada diretamente pela Estação de Transbordo de Carga A, expressa em unidades (semirreboques), com discriminação entre embarques (52,8%) e desembarques (47,2%), frota da empresa de transporte A e frota de terceiros. Essa informação, obtida de forma direta, possibilita uma visão mais específica das operações da empresa, embora não esteja em peso bruto, limitando a comparabilidade imediata com os dados oficiais da ANTAQ.

Tabela 1 – Movimentação de semirreboques na Estação de Transbordo de Carga A, por embarques e desembarques, 2024.

Embarques			
Mês	Frotas Empresa de Transporte A	Frotas Terceiros	Total
Janeiro	550	556	1.106
Fevereiro	548	459	1.007
Março	599	586	1.185
Abril	563	453	1.016
Maio	639	409	1.048
Junho	556	321	877
Julho	647	334	981
Agosto	639	347	986
Setembro	597	432	1.029
Outubro	641	570	1.211
Novembro	685	505	1.190
Dezembro	635	447	1.082
Total	7.299	5.419	12.718

Desembarques			
Mês	Frotas Empresa de Transporte A	Frotas Terceiros	Total
Janeiro	563	583	1.146
Fevereiro	464	525	989
Março	487	506	993
Abril	460	435	895
Maio	421	421	842
Junho	455	342	797
Julho	471	426	897
Agosto	543	499	1.042
Setembro	490	420	910
Outubro	541	569	1.110
Novembro	477	466	943
Dezembro	457	515	972
Total	5.829	5.707	11.536

Fonte: Empresa de Transporte A (2025).

Ao comparar a conversão realizada a partir dos dados da ANTAQ (21.074 unidades) com a movimentação apresentada pela empresa (24.254 unidades), observa-se uma diferença significativa. Segundo o entrevistado, isso pode ocorrer porque cada semirreboque transportado é devidamente pesado, o que implica que,

embora muitos operem com a média de 27 toneladas, outros podem transportar cargas menores. Como não tivemos acesso aos dados em peso bruto da empresa, essa limitação contribui para a diferença observada.

Além disso, verifica-se outra divergência ao analisar o mês de maior movimentação: enquanto os dados da empresa apontam para outubro como o pico operacional, nos registros da ANTAQ esse ápice ocorreu em junho. Essa diferença pode estar diretamente associada ao peso do que foi efetivamente transportado em cada mês, uma vez que nos dados obtidos de forma direta, a empresa disponibilizou seus resultados em unidades de semirreboques, enquanto a ANTAQ informa os volumes em toneladas.

As coletas e entregas seguem uma rotina estabelecida, priorizando os clientes mais estratégicos. No caso de uma empresa de eletrônicos específica, por exemplo, há motoristas alocados exclusivamente para atender essa demanda, inclusive com operações noturnas. O horário padrão para coletas inicia-se às 8h, mas as entregas são liberadas mais cedo, a partir das 6h20. O planejamento logístico é ajustado conforme a disponibilidade de carretas e o volume de cargas. A operação de transporte de carretas vazias e carregadas se concentra em maior parte na Torquato Tapajós e no Distrito Industrial, atendendo grandes clientes com fluxo contínuo de coletas e entregas. Adicionalmente, os dados referentes à distribuição da movimentação de semirreboques foram apresentados e estão descritos detalhadamente na Tabela 2.

Tabela 2 – Distribuição da movimentação de semirreboques.

Av. Torquato Tapajós	Distrito Industrial
80%	20%

Fonte: Empresa de Transportes A (2025).

Uma carreta saindo da base em direção à Av. Torquato leva, em média, de 30 a 40 minutos para chegar à região de uma rede varejista específica localizada na avenida, dependendo do tráfego. O trajeto é normalmente feito pela Av. do Turismo, sem necessidade de retorno, o que agiliza o deslocamento. Para uma empresa de eletrônicos, no Distrito Industrial, o tempo de percurso varia entre 1 hora e 1 hora e 30 minutos no período da manhã, considerando a liberação às 6h. A presença de uma escola no trajeto impacta significativamente o trânsito, aumentando o tempo de

deslocamento. O percurso inclui a Av. Silves e a Av. Rodrigo Otávio, onde o fluxo intenso de veículos contribui para a demora. No decorrer do dia, tanto o trajeto para a Av. Torquato Tapajós quanto para o Distrito Industrial se tornam mais demorados. Para a Torquato, o tempo de deslocamento pode chegar a 1 hora devido ao aumento do tráfego. No caso do Distrito, o tempo pode atingir até 2 horas, principalmente devido às movimentações intensas na região e às rotas internas do distrito. Após as 15h, a alta concentração de veículos compromete a eficiência da operação logística, exigindo planejamento para minimizar atrasos.

Por fim, a Tabela 3 apresenta os dados disponibilizados pela Empresa de Transporte A referentes à movimentação de dois semirreboques monitorados por GPS ao longo de um dia de operação. Esses registros foram utilizados para comparar o tempo de percurso efetivamente realizado pelos veículos com o tempo estimado por meio do Google Maps, a partir da mesma origem e destino. Dessa forma, a tabela sintetiza essa comparação, permitindo observar a proximidade entre os valores registrados pelo rastreamento e os valores obtidos pela ferramenta digital.

Tabela 3 – Comparação do tempo de percurso entre GPS de veículos e estimativa do Google Maps em rotas da Empresa de Transporte A.

Rota	Partida	Destino	Tempo de percurso registrado pelo Gps (min.)	Tempo de percurso obtido pelo Google Maps (min.)
A	Empresa de Transporte A	Rua Barão de Anajatuba - Parque das Laranjeiras	42	40
B	Empresa de Transporte A	Rua do Luso - Tarumã	43	45

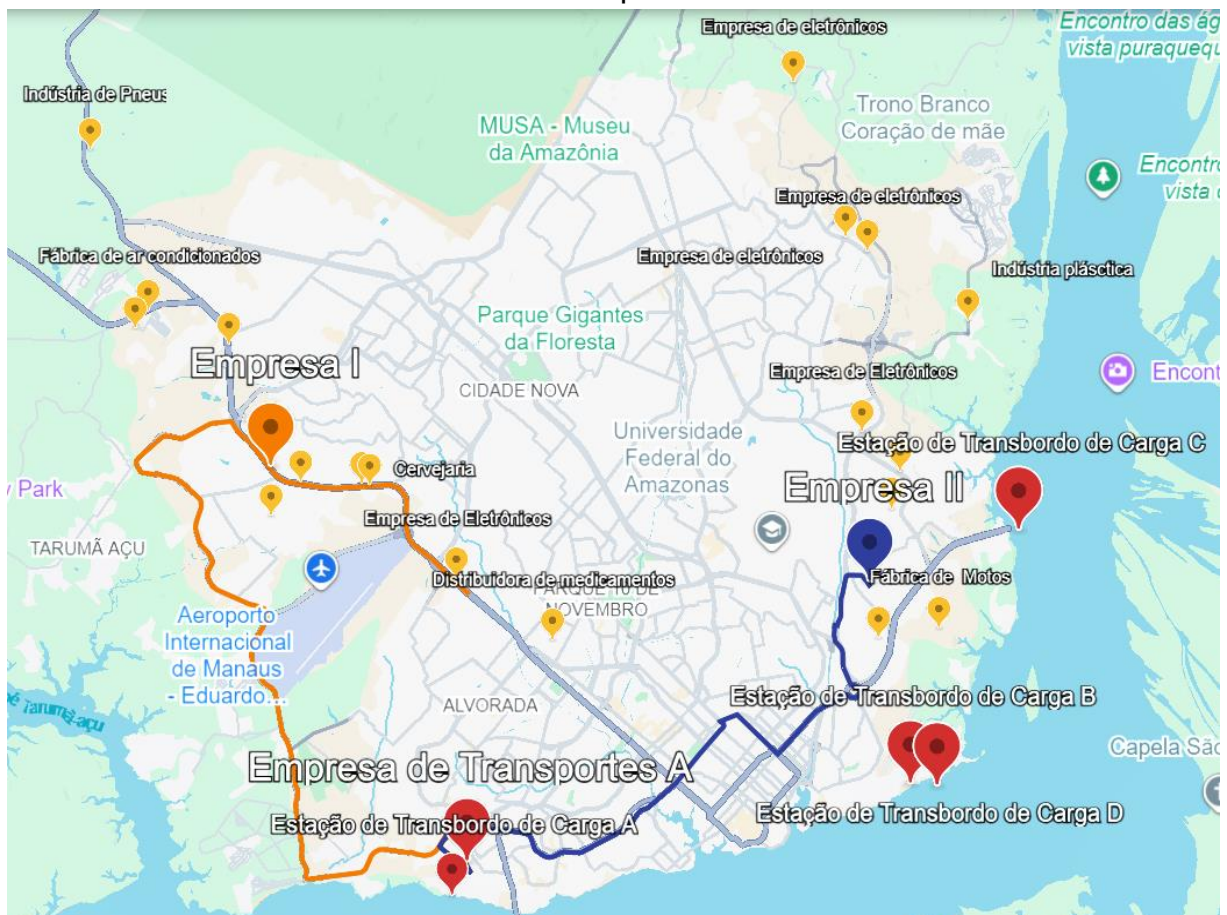
Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da Empresa de Transporte A e do Google Maps (2025).

Observa-se que, nas duas rotas apresentadas, mesmo em áreas distintas da cidade, a diferença entre o tempo de percurso registrado pelo GPS e aquele estimado pelo Google Maps foi de apenas 2 minutos. Esses resultados indicam que, embora existam pequenas discrepâncias, os valores são bastante próximos, o que reforça a confiabilidade do uso do Google Maps como referência metodológica. Assim, a comparação atua como uma forma de validação dos tempos obtidos pela ferramenta em relação ao desempenho real dos veículos monitorados.

4.2 ANÁLISE DAS ROTAS

A Figura 4 apresenta as informações obtidas e confirmadas na entrevista realizada com a Empresa de Transportes A, evidenciando as rotas mais utilizadas por essa transportadora para a movimentação de semirreboques na cidade de Manaus. Além dos trajetos, o mapa também destaca pontos que correspondem a empresas atendidas pela transportadora, representando clientes localizados em diferentes regiões da cidade. Esse levantamento possibilita compreender de forma mais precisa as principais vias empregadas no deslocamento e as estratégias logísticas aplicadas no escoamento de cargas pesadas na região.

Figura 4 – Rotas mais utilizadas para a distribuição de semirreboques da Empresa de Transporte A.



Fonte: Elaborado pela autora.

Na Tabela 4, encontram-se descritos os detalhes de cada trajeto identificado no mapeamento mostrado na Figura 4, permitindo uma visualização mais clara dos percursos analisados. As rotas estão diferenciadas por cores, seguindo a representação visual do mapa, e incluem a relação das vias percorridas em cada deslocamento. As empresas I e II foram adotadas como pontos de referência para os destinos, servindo de base para a análise e comparação entre os trajetos.

Tabela 4 – Detalhamento das rotas mais utilizadas pela Empresa de Transporte A.

Rotas	Cor	Ponto de Partida	Ponto de Destino	Vias Percorridas
Rota 1	Laranja	Empresa de Transporte A	Empresa I	Rua Raimundo Nonato de Castro, Av. Coronel Texeira, Av. do Turismo, Estrada do Taramã e Av. Torquato Tapajós.
Rota 2	Azul	Empresa de Transporte A	Empresa II	Rua Raimundo Nonato de Castro, Av. Coronel Texeira, Av. Brasil, Av. Álvaro Maia, Av. Silves, Av. Rodrigo Otávio, Av. Buriti, Rua Javari e Rua Jutai.

Fonte: Elaborado pela autora.

A Tabela 5 apresenta informações complementares às características das rotas analisadas, incluindo a distância total dos trajetos, o tempo médio de percurso e os indicadores derivados desses valores, como velocidade média e tempo por quilômetro. Esses parâmetros reforçam a análise comparativa entre as rotas, permitindo avaliar o percurso e o desempenho operacional dos deslocamentos realizados pela Empresa de Transporte A.

Tabela 5 – Indicadores operacionais das rotas analisadas.

Rota	Distância Percorrida (km)	Tempo Médio (min)	Velocidade média (km/h)	Tempo por km (min/km)
Rota 1	21,8	41	31,9	1,88
Rota 2	18	66	16,36	3,67

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se que a Rota 1, apesar de possuir maior extensão (21,8 km), apresenta um tempo de viagem menor e uma velocidade média significativamente superior à da Rota 2. Isso ocorre porque o trajeto da Rota 1 percorre um número reduzido de vias com menor interferência do tráfego urbano e com menos pontos críticos de congestionamento. Em contrapartida, a Rota 2, mesmo sendo mais curta (18 km), atravessa maior quantidade de vias, incluindo trechos com elevados volumes de tráfego e gargalos viários característicos do Distrito Industrial. Como resultado, o desempenho dessa rota é mais afetado pelas condições da circulação urbana, refletido em maior tempo de deslocamento e velocidade média cerca de duas vezes menor em comparação à Rota 1. Esses achados reforçam que a eficiência das viagens com semirreboques não está ligada apenas à distância percorrida, mas principalmente às características operacionais das vias que compõem cada trajeto.

A Tabela 6 apresenta os resultados referentes ao tempo de percurso da Rota 1 no mês de outubro de 2024, cujo ponto de partida é a Empresa de Transporte A. Cabe destacar que a localização dessa empresa coincide com a Estação de Transbordo de Carga utilizada nas operações analisadas, de modo que ambos os termos representam o mesmo local de origem das viagens. Os registros foram realizados em intervalos de 1 hora, entre 6h e 21h, durante cinco dias consecutivos (de segunda a sexta-feira), período em que a empresa concentra a maior parte de suas operações. A partir desses dados, foi calculada a mediana dos tempos de viagem por intervalo, permitindo identificar padrões de deslocamento ao longo do dia.

Tabela 6 – Tempos de percurso da Rota 1 (Empresa de Transporte A para Empresa I, Av. Torquato Tapajós) em outubro de 2024.

Período	Intervalo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Mediana por Intervalo
	06h–07h	40	40	40	40	40	
06h–09h	07h–08h	40	40	40	40	40	40
	08h–09h	40	40	40	40	40	
	09h–10h	40	40	40	40	40	
09h–12h	10h–11h	40	40	40	40	40	40
	11h–12h	40	40	40	40	40	

Período	Intervalo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Mediana por Intervalo
	12h–13h	40	40	40	40	40	
12h–15h	13h–14h	40	40	40	40	40	40
	14h–15h	40	40	40	40	40	
	15h–16h	40	40	40	40	40	
15h–18h	16h–17h	45	40	45	45	45	45
	17h–18h	45	45	45	45	45	
	18h–19h	40	40	45	40	40	
18h–21h	19h–20h	40	40	40	40	40	40
	20h–21h	40	40	40	40	40	

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do Google Maps.

De maneira geral, a Rota 1 apresentou tempo de percurso constante em 40 minutos na maior parte dos intervalos, demonstrando estabilidade e boa fluidez no trajeto, tanto pela manhã quanto à tarde. Entre 15h e 18h, houve elevação para 45 minutos, possivelmente em função do horário de pico e do maior fluxo de veículos. Ainda assim, a variação foi pequena, reforçando a eficiência da rota para os deslocamentos diários da empresa.

Na Tabela 7 estão registrados os tempos de viagem da Rota 2, que parte da Empresa de Transporte A com destino à Empresa II, situada no Distrito Industrial. Assim como na rota anterior, os registros foram realizados em intervalos de 1 hora, entre 6h e 21h, durante cinco dias úteis consecutivos, com posterior cálculo da mediana por intervalo. Essa sistemática possibilita identificar os momentos de maior e menor fluidez no trajeto.

Tabela 7 – Tempos de percurso da Rota 2 (Empresa de Transporte A para Empresa II, Distrito Industrial) em outubro de 2024.

Período	Intervalo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Mediana por Intervalo
06h–09h	06h–07h	70	70	70	70	70	70
	07h–08h	70	75	70	70	70	
	08h–09h	65	70	70	65	65	
09h–12h	09h–10h	65	65	65	65	65	65
	10h–11h	65	70	65	65	65	
	11h–12h	65	65	65	65	70	
12h–15h	12h–13h	65	65	65	65	70	65
	13h–14h	65	70	65	65	70	
	14h–15h	65	70	65	65	70	
15h–18h	15h–16h	70	70	70	70	70	70
	16h–17h	75	75	75	75	75	
	17h–18h	70	70	70	70	70	
18h–21h	18h–19h	65	65	65	65	65	60
	19h–20h	60	60	60	60	60	
	20h–21h	55	55	55	55	60	

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do Google Maps.

Na Rota 2, os tempos de deslocamento foram mais elevados que na Rota 1, variando entre 55 e 75 minutos. Pela manhã (6h–9h), a mediana se manteve em 70 minutos, indicando tráfego intenso já nas primeiras horas do dia. Entre 9h e 15h, houve uma leve melhora, com redução para 65 minutos, sugerindo maior estabilidade nesse período. No intervalo das 15h às 18h, o tempo voltou a crescer, atingindo a mediana de 70 minutos e o pico de 75 minutos, caracterizando o horário de maior congestionamento. No período noturno, entre 18h e 21h, registrou-se a queda mais expressiva, chegando a 55 minutos, mostrando maior fluidez e eficiência no final do dia.

A Tabela 8 apresenta a distribuição das movimentações de semirreboques da Empresa de Transporte A no mês de outubro de 2024, considerando embarques e desembarques. Esse mês foi escolhido para análise por registrar o maior volume total

de movimentações no período observado, tanto no geral (incluindo a frota própria e de terceiros), quanto especificamente para a frota da empresa. No total, outubro contabilizou 2.321 movimentações, das quais 1.182 corresponderam exclusivamente à frota da Empresa A, valor utilizado como base para a análise. Considerando esse montante, foi calculada uma média de 52 movimentações diárias (considerando os 23 dias do mês de outubro, segunda a sexta), distribuídas nos intervalos horários segundo os percentuais de participação informados pela empresa. Além disso, como já apresentado na Tabela 2, adotou-se a proporção de 80% para a Avenida Torquato Tapajós e 20% para o Distrito Industrial, o que permitiu detalhar a concentração das operações em cada área.

Tabela 8 – Distribuição das movimentações de semirreboques da Empresa de Transporte A no mês de outubro de 2024.

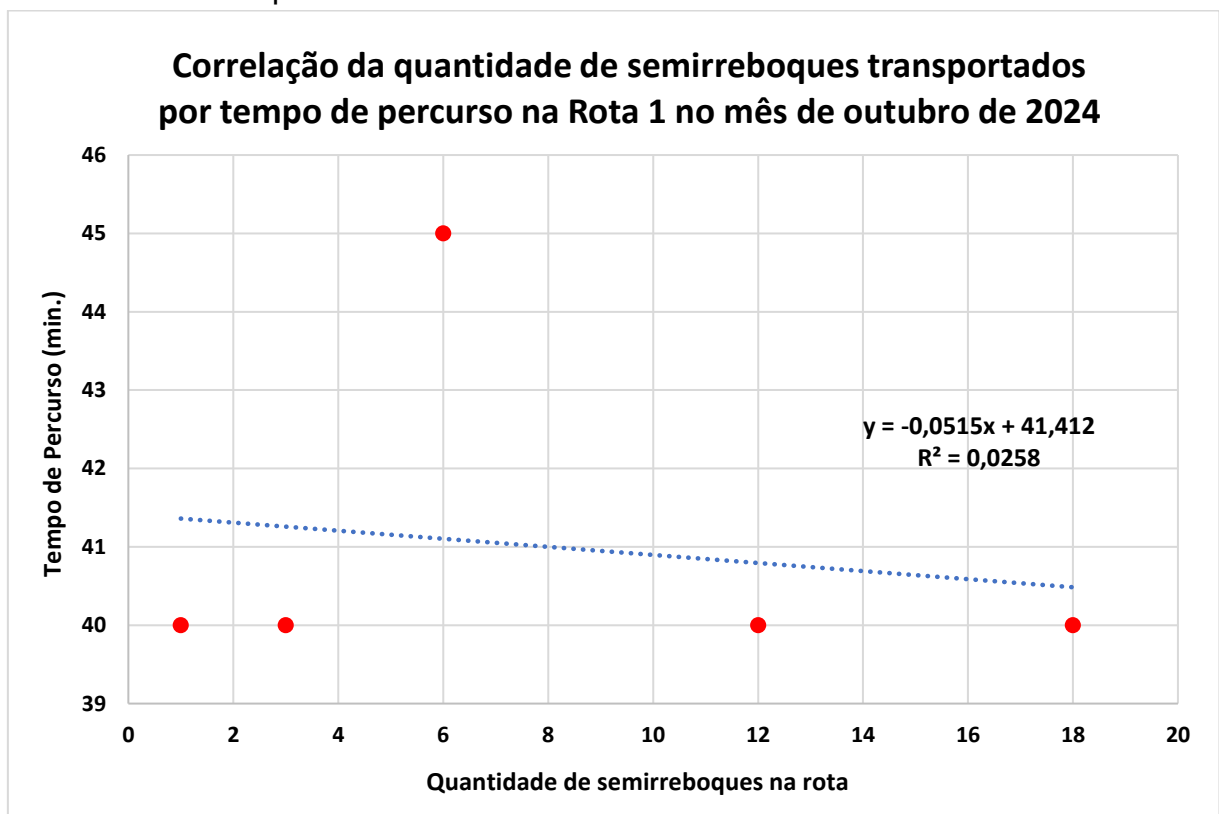
Faixa Horária	% Estimada	Av. Torquato	Distrito Industrial	Total Geral
06h – 09h	45%	18	6	24
09h – 12h	30%	12	3	15
12h – 15h	6%	3	0	3
15h – 18h	15%	6	3	9
18h – 21h	4%	1	0	1
Total	100%	40	12	52

Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados demonstram que a maior concentração das movimentações ocorre no período da manhã, entre 06h e 09h, reunindo 45% do total, o que representa quase metade das operações diárias. Em seguida, o intervalo entre 09h e 12h responde por 30% das movimentações, confirmando que a maior intensidade operacional se concentra no turno matutino. Já no período da tarde e início da noite, a participação é significativamente menor: 15% entre 15h e 18h, 6% entre 12h e 15h, e apenas 4% entre 18h e 21h. Esse padrão evidencia que as operações logísticas da empresa são majoritariamente realizadas nas primeiras horas do dia, o que pode estar relacionado tanto à necessidade de cumprir prazos de entrega quanto à estratégia de evitar maiores congestionamentos no tráfego urbano.

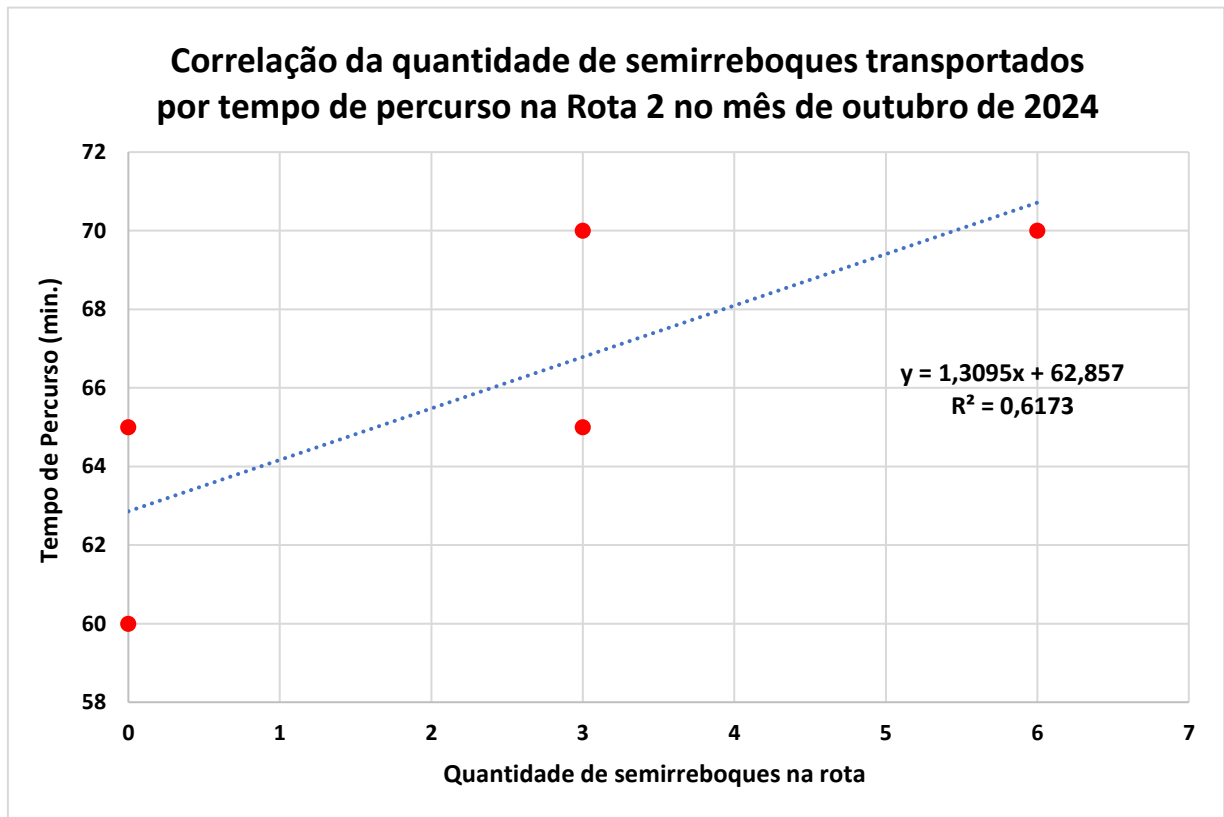
A análise da correlação entre o número de semirreboques em circulação nas rotas e os respectivos tempos de percurso oferece uma visão aprofundada sobre a eficiência operacional e os impactos do transporte pesado na logística urbana. A Figura 4 apresenta a correlação entre o número de semirreboques registrados na Rota 1 referentes a outubro de 2024, nos horários determinados, e o tempo de percurso correspondente. Já a Figura 5 mostra essa mesma correlação para a Rota 2. Em ambas as figuras, os valores de tempo de viagem (em minutos) foram comparados com o número de veículos em circulação, sendo incluída a reta de tendência e os respectivos coeficientes de determinação (R^2).

Figura 4 – Correlação da quantidade de semirreboques transportados por tempo de percurso na Rota 1 no mês de outubro de 2024.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 5 – Correlação da quantidade de semirreboques transportados por tempo de percurso na Rota 2 no mês de outubro de 2024.



Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados evidenciam comportamentos distintos entre as rotas. Na Rota 1, o valor de R^2 (0,0258) confirma que o fluxo de semirreboques não influenciou de forma relevante o tempo de percurso. Diante desse resultado, duas possibilidades podem ser consideradas: a primeira seria a de que o aumento do número de semirreboques pudesse provocar acréscimos no tempo de viagem, em função da maior presença destes veículos na via; a segunda, por sua vez, é a de que as condições estruturais e operacionais da rota sejam capazes de absorver essa demanda sem comprometer a fluidez do tráfego. Essa baixa variação nos tempos de viagem pode ser explicada pelas características do trajeto, composto por vias com menor interferência do trânsito urbano e com reduzida suscetibilidade a congestionamentos, além de apresentar um fluxo viário mais distribuído ao longo do percurso, sem trechos com grande concentração e retenção de veículos. Os dados analisados indicam que a segunda possibilidade é a que melhor representa o comportamento observado, uma vez que, mesmo com maior volume de semirreboques circulando, o deslocamento manteve-se estável, sugerindo que a fluidez geral da via exerce influência mais significativa do que

a quantidade de veículos pesados. Nesse cenário, evidencia-se que a fluidez geral do tráfego local exerce influência mais relevante do que a quantidade de veículos pesados, justificando o comportamento estável do tempo de viagem.

Já na Rota 2, o R^2 (0,6173) sugere uma correlação moderada, apontando que o aumento do número de semirreboques pode estar associado a maiores tempos de viagem. No entanto, esse valor ainda não representa uma relação estatisticamente forte, devendo ser interpretado com cautela. É importante destacar que nessa rota o número de veículos foi menor do que na Rota 1, porém o fluxo geral de veículos é mais elevado, além de apresentar maior interferência urbana e pontos de retenção, o que pode potencializar os efeitos do tráfego sobre o desempenho da viagem. Essa diferença sugere que o impacto do transporte pesado sobre os tempos de deslocamento não depende apenas da quantidade de veículos, mas também das características da rota, como perfil viário mais complexo, maior intensidade do tráfego urbano e circulação de veículos leves em maior volume.

Com o objetivo de reforçar e validar os resultados obtidos para o ano de 2024, realizou-se uma nova coleta de dados referente ao mês de outubro de 2025. Nesta etapa, foram analisadas quatro semanas completas, abrangendo 20 dias úteis (de segunda a sexta-feira), período em que se concentram as maiores movimentações da frota. Diferentemente do conjunto anterior, que possuía caráter mais amostral, este novo banco de dados representa de forma mais consistente o comportamento operacional ao longo de um mês típico, permitindo um diagnóstico mais robusto das condições de tráfego e da dinâmica das rotas. As Tabelas 9 e 10 apresentam, respectivamente, a distribuição das movimentações de semirreboques com destino à Avenida Torquato Tapajós e ao Distrito Industrial, organizadas por faixa horária e seguindo a mesma estrutura adotada na análise anterior.

Tabela 9 – Distribuição das movimentações de semirreboques na Rota 1 (outubro/2025).

Distribuição da movimentação de semirreboques na rota 1 (de 06 a 10 de 2025)						
Período	Intervalo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
06h–09h	06h–07h	4	4	2	3	2
	07h–08h	2	0	1	1	6
	08h–09h	3	1	1	1	0
09h–12h	09h–10h	3	1	2	0	0
	10h–11h	1	0	0	1	1
	11h–12h	3	0	2	1	0
12h–15h	12h–13h	0	1	1	0	0
	13h–14h	2	1	0	1	0
	14h–15h	0	0	1	2	1
15h–18h	15h–16h	3	0	1	2	1
	16h–17h	2	3	0	0	0
	17h–18h	0	0	1	1	0
18h–21h	18h–19h	0	0	0	0	0
	19h–20h	0	1	0	0	1
	20h–21h	0	1	0	1	1
Total		23	13	12	14	13

Distribuição da movimentação de semirreboques na rota 1 (de 13 a 17 de 2025)						
Período	Intervalo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
06h–09h	06h–07h	2	0	5	1	2
	07h–08h	1	4	3	3	2
	08h–09h	2	8	1	1	2
09h–12h	09h–10h	0	1	0	0	0
	10h–11h	4	1	1	1	1
	11h–12h	1	1	0	1	0
12h–15h	12h–13h	0	0	3	0	0
	13h–14h	1	0	2	0	0
	14h–15h	3	1	1	2	3
15h–18h	15h–16h	0	4	0	2	3
	16h–17h	2	1	1	2	0
	17h–18h	1	1	0	0	0
18h–21h	18h–19h	1	1	0	0	0
	19h–20h	0	0	1	1	0
	20h–21h	1	0	0	0	0
Total		19	23	18	14	13

Distribuição da movimentação de semirreboques na rota 1 (de 20 a 24 de 2025)

Período	Intervalo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
06h–09h	06h–07h	2	0	5	1	2
	07h–08h	1	4	3	3	2
	08h–09h	2	8	1	1	2
09h–12h	09h–10h	0	1	0	0	0
	10h–11h	4	1	1	1	1
	11h–12h	1	1	0	1	0
12h–15h	12h–13h	0	0	3	0	0
	13h–14h	1	0	2	0	0
	14h–15h	3	1	1	2	3
15h–18h	15h–16h	0	4	0	2	3
	16h–17h	2	1	1	2	0
	17h–18h	1	1	0	0	0
18h–21h	18h–19h	1	1	0	0	0
	19h–20h	0	0	1	1	0
	20h–21h	1	0	0	0	0
Total		19	23	18	14	13

Distribuição da movimentação de semirreboques na rota 1 (de 27 a 31 de 2025)

Período	Intervalo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
06h–09h	06h–07h	2	4	2	4	3
	07h–08h	1	6	1	2	4
	08h–09h	4	1	5	2	3
09h–12h	09h–10h	1	1	1	1	2
	10h–11h	0	4	1	3	2
	11h–12h	3	0	4	4	4
12h–15h	12h–13h	0	1	1	1	3
	13h–14h	0	1	1	1	2
	14h–15h	0	1	2	0	2
15h–18h	15h–16h	4	3	3	3	3
	16h–17h	2	1	0	1	0
	17h–18h	2	0	0	0	1
18h–21h	18h–19h	1	2	1	1	0
	19h–20h	0	0	0	0	0
	20h–21h	0	1	0	0	2
Total		20	26	22	23	31

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 10 – Distribuição das movimentações de semirreboques na Rota 2
(outubro/2025)

Distribuição da movimentação de semirreboques na rota 2 (de 06 a 10 de 2025)						
Período	Intervalo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
06h–09h	06h–07h	4	3	1	1	4
	07h–08h	1	1	3	3	2
	08h–09h	0	0	0	0	1
09h–12h	09h–10h	0	0	0	1	1
	10h–11h	0	0	0	0	0
	11h–12h	0	0	0	0	0
12h–15h	12h–13h	0	1	0	0	0
	13h–14h	0	0	0	0	0
	14h–15h	0	0	0	0	0
15h–18h	15h–16h	1	0	0	0	0
	16h–17h	2	2	0	0	0
	17h–18h	0	0	0	0	1
18h–21h	18h–19h	0	0	1	0	0
	19h–20h	0	0	1	0	0
	20h–21h	0	0	0	0	0
Total		8	7	6	5	9

Distribuição da movimentação de semirreboques na rota 2 (de 13 a 17 de 2025)						
Período	Intervalo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
06h–09h	06h–07h	2	0	0	0	0
	07h–08h	3	3	2	0	1
	08h–09h	1	0	3	3	0
09h–12h	09h–10h	0	2	0	1	5
	10h–11h	1	1	1	3	0
	11h–12h	2	1	2	0	0
12h–15h	12h–13h	0	0	0	3	0
	13h–14h	1	1	3	1	1
	14h–15h	0	1	1	0	0
15h–18h	15h–16h	0	1	3	0	2
	16h–17h	2	0	0	0	1
	17h–18h	3	1	0	0	1
18h–21h	18h–19h	2	2	2	6	2
	19h–20h	3	2	0	0	1
	20h–21h	0	1	0	2	2
Total		20	16	17	19	16

Distribuição da movimentação de semirreboques na rota 2 (de 20 a 24 de 2025)

Período	Intervalo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
06h–09h	06h–07h	0	0	2	0	0
	07h–08h	2	0	1	1	0
	08h–09h	0	0	1	1	3
09h–12h	09h–10h	0	3	0	3	0
	10h–11h	1	0	1	0	2
	11h–12h	1	1	3	2	0
12h–15h	12h–13h	0	0	0	1	1
	13h–14h	1	1	3	1	0
	14h–15h	0	1	1	2	0
15h–18h	15h–16h	1	1	2	0	1
	16h–17h	0	0	0	1	0
	17h–18h	1	1	2	2	0
18h–21h	18h–19h	1	3	0	0	0
	19h–20h	1	0	1	1	0
	20h–21h	1	2	0	1	0
Total		10	13	17	16	7

Distribuição da movimentação de semirreboques na rota 2 (de 27 a 31 de 2025)

Período	Intervalo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
06h–09h	06h–07h	2	0	2	0	1
	07h–08h	2	1	1	0	2
	08h–09h	1	0	0	1	1
09h–12h	09h–10h	0	1	3	1	3
	10h–11h	1	1	2	1	1
	11h–12h	0	2	2	2	3
12h–15h	12h–13h	1	0	1	0	0
	13h–14h	0	1	2	1	3
	14h–15h	1	1	0	1	0
15h–18h	15h–16h	0	0	3	4	6
	16h–17h	2	1	0	2	2
	17h–18h	2	2	0	0	0
18h–21h	18h–19h	1	1	1	1	2
	19h–20h	0	0	1	0	0
	20h–21h	2	2	0	3	0
Total		15	13	18	17	24

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se que, assim como no ano anterior, a maior parte das movimentações permanece concentrada nas primeiras horas do dia, especialmente no período entre 6h e 9h. Nota-se também um leve acréscimo de movimentações no período da tarde, entre 15h e 18h, embora ainda em volume inferior ao registrado no início da manhã. Além disso, verifica-se novamente que o volume direcionado à Av. Torquato Tapajós é expressivamente superior ao destinado ao Distrito Industrial, evidenciando a predominância operacional dessa rota no cotidiano da empresa.

Com base na distribuição apresentada, foram levantados também os dados de tempo de percurso referentes ao mês de outubro de 2025, calculados a partir da média obtida para os dias úteis (segunda a sexta-feira) no decorrer das quatro semanas analisadas, segmentados hora a hora, reproduzindo o mesmo procedimento adotado na análise do ano anterior. Esses resultados encontram-se organizados nas Tabelas 11 e 12, correspondentes às Rotas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 11 – Tempos de percurso da Rota 1 (Empresa de Transporte A para Empresa I, Av. Torquato Tapajós) em outubro de 2025.

Período	Intervalo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Mediana por Intervalo
	06h–07h	48	45	47	45	42	
06h–09h	07h–08h	50	50	45	45	45	45
	08h–09h	40	40	40	40	40	
	09h–10h	40	40	40	40	40	
09h–12h	10h–11h	40	40	40	40	40	40
	11h–12h	45	45	45	45	40	
	12h–13h	40	45	45	45	45	
12h–15h	13h–14h	40	40	40	40	40	40
	14h–15h	40	40	40	45	40	
	15h–16h	40	40	40	40	40	
15h–18h	16h–17h	45	45	45	45	45	45
	17h–18h	50	50	50	50	45	
	18h–19h	45	45	45	50	50	
18h–21h	19h–20h	45	40	45	45	40	45
	20h–21h	40	40	40	40	40	

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do Google Maps.

Tabela 12 – Tempos de percurso da Rota 2 (Empresa de Transporte A para Empresa I, Av. Torquato Tapajós) em outubro de 2022.

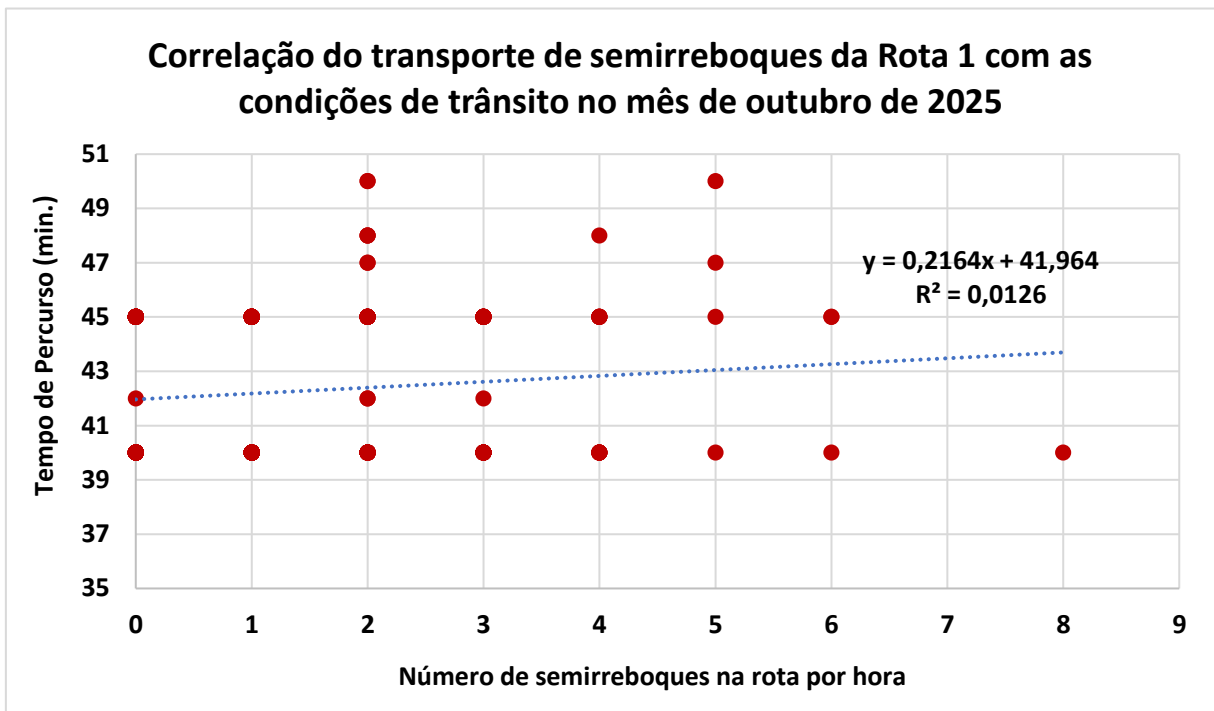
Período	Intervalo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Mediana por Intervalo
06h–09h	06h–07h	72	72	76	75	70	72
	07h–08h	75	80	80	80	70	
	08h–09h	70	70	75	70	70	
09h–12h	09h–10h	65	62	60	70	65	65
	10h–11h	65	70	70	70	70	
	11h–12h	65	60	60	70	70	
12h–15h	12h–13h	70	70	70	70	70	70
	13h–14h	65	70	70	70	70	
	14h–15h	65	70	65	70	70	
15h–18h	15h–16h	70	70	70	75	70	75
	16h–17h	75	75	75	75	75	
	17h–18h	70	70	75	75	70	
18h–21h	18h–19h	65	65	65	65	65	60
	19h–20h	60	60	60	60	60	
	20h–21h	55	60	60	60	60	

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do Google Maps.

Comparando esses resultados com os tempos observados no ano anterior, nota-se um leve aumento no tempo de percurso em ambas as rotas. Embora não seja um acréscimo expressivo, esse crescimento sugere uma intensificação moderada das condições de tráfego ou pequenas variações operacionais que impactaram o desempenho das viagens ao longo de 2025.

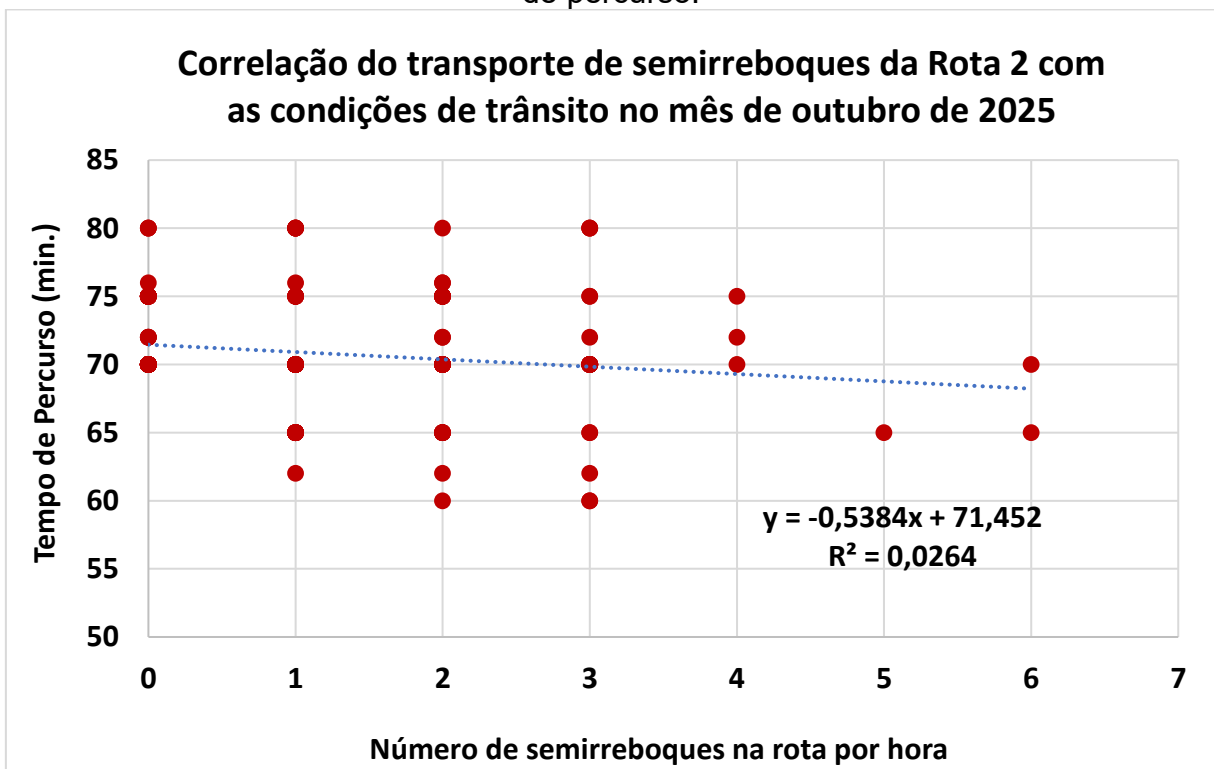
Com os dados apresentados nas Tabelas 9, 10, 11 e 12, foram elaborados os gráficos de correlação entre movimentação de semirreboques e tempo de percurso para o mês de outubro de 2025, estruturados de modo equivalente às análises apresentadas anteriormente. As Figuras 6 e 7 representam, respectivamente, os resultados obtidos para as Rotas 1 e 2.

Figura 6 – Correlação entre a movimentação de semirreboques na Rota 1 e o tempo de percurso.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 7 – Correlação entre a movimentação de semirreboques na Rota 2 e o tempo de percurso.

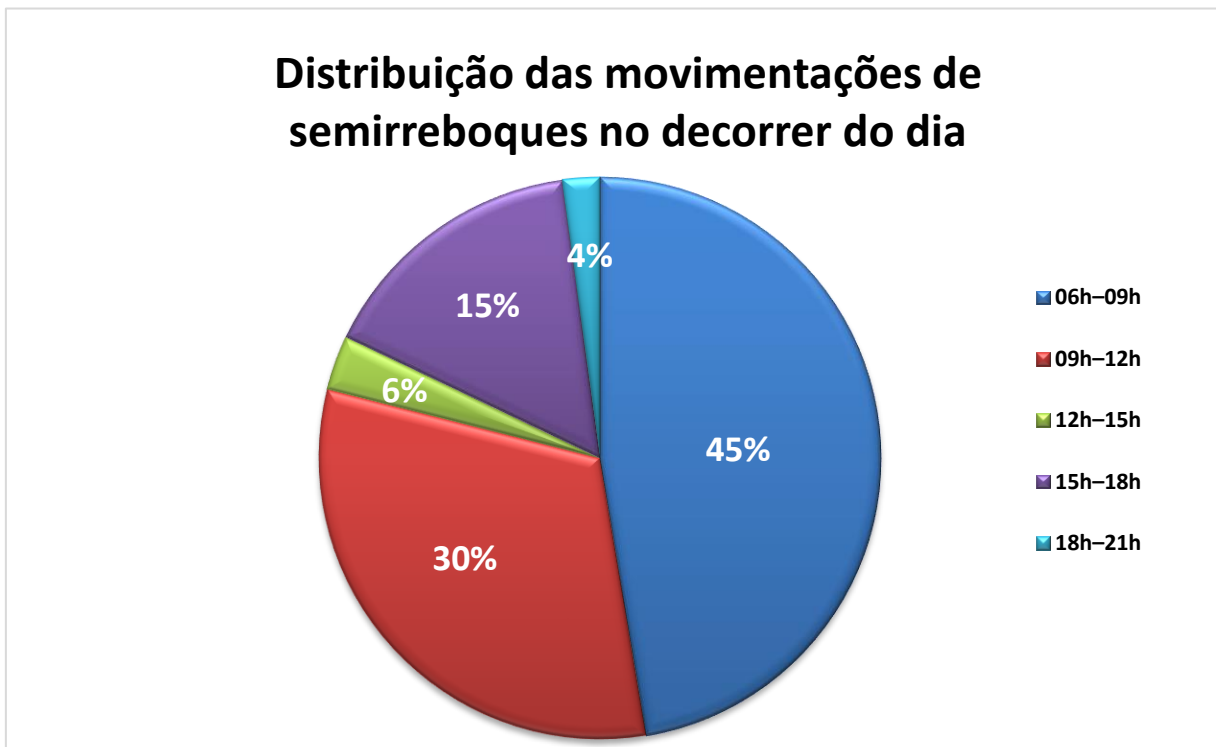


Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados de 2025 reforçam que não há relação significativa entre a movimentação de semirreboques e o tempo de percurso em nenhuma das rotas analisadas. Na Rota 1, o valor de $R^2 = 0,0126$ é ainda mais baixo do que o observado anteriormente, confirmando o comportamento já verificado em 2024, quando essa rota apresentou um perfil de deslocamento estável mesmo diante de variações no fluxo de veículos pesados. De forma semelhante, embora a Rota 2 tenha demonstrado em 2024 um R^2 moderado, os resultados de 2025 apresentaram um valor extremamente reduzido ($R^2 = 0,0264$), indicando que a relação identificada no ano anterior não se repetiu quando analisado um conjunto de dados maior e mais representativo. Assim, mesmo considerando que a Rota 2 possui características viárias mais complexas, com maior interferência urbana e presença de pontos de retenção, os resultados recentes sugerem que o número de semirreboques não foi determinante para explicar os tempos de viagem no período analisado. Dessa forma, a análise conjunta dos dois anos evidencia que as variações no tempo de percurso estão mais associadas às condições gerais de tráfego e ao contexto operacional de cada rota do que ao volume de veículos pesados em circulação.

Com base nos dados apresentados nas Tabelas 6, 7 e 8, prosseguiu-se com uma segunda análise, na qual foi realizada a comparação entre os horários de pico e fora de pico das duas rotas analisadas, considerando tanto o tempo de percurso quanto a concentração das movimentações de semirreboques ao longo do dia. A Figura 8 ilustra graficamente a distribuição percentual das movimentações de semirreboques ao longo do dia, destacando as faixas horárias de maior e menor concentração das operações da Empresa de Transporte A.

Figura 8 – Distribuição percentual das movimentações de semirreboques ao longo do dia.



Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme a Figura 8, observa-se que o maior volume de movimentações ocorre no intervalo entre 6h e 9h, que concentra 45% das operações diárias da Empresa de Transporte A, seguido pelo período das 9h às 12h, com 30%. Juntos, esses intervalos representam 75% do total de deslocamentos, caracterizando-se como os principais horários de pico operacional da empresa. Em contrapartida, as faixas de 12h a 15h (6%) e 18h a 21h (4%) configuram os horários de menor movimento, sendo classificadas como fora de pico.

Embora o pico operacional ocorra no turno da manhã, a análise dos tempos de percurso revelou que o aumento mais expressivo na duração das viagens acontece no período da tarde (15h-18h), coincidindo com o pico geral do tráfego urbano de Manaus, quando há maior fluxo de veículos de diferentes categorias. Dessa forma, o intervalo das 15h às 18h foi adotado como horário de pico viário, enquanto o período das 18h às 21h, que apresenta redução significativa tanto no volume de veículos quanto nos tempos de percurso, foi definido como fora de pico. Essa distinção é importante, pois o objetivo da análise não é apenas identificar quando há mais deslocamentos da empresa, mas quando o trânsito apresenta maior interferência sobre o desempenho das rotas.

A Tabela 13 apresenta a diferença percentual dos tempos de percurso entre os horários de pico (16h–19h) e fora de pico (18h–21h) nas duas rotas analisadas, permitindo observar de forma comparativa o impacto do fluxo de semirreboques sobre a fluidez viária.

Tabela 13 – Diferença percentual entre os tempos de percurso nos horários de pico e fora de pico nas rotas analisadas.

Rota	Horário de Pico	Tempo de Pico (min)	Horário Fora de Pico	Tempo Fora de Pico (min)	Diferença Absoluta (min)	Diferença Percentual (%)
Rota 1 – Av. Torquato Tapajós	16h–19h	45	18h–21h	40	5	12,50%
Rota 2 – Distrito Industrial	15h–18h	70	18h–21h	60	10	14,30%

Fonte: Elaborado pela autora.

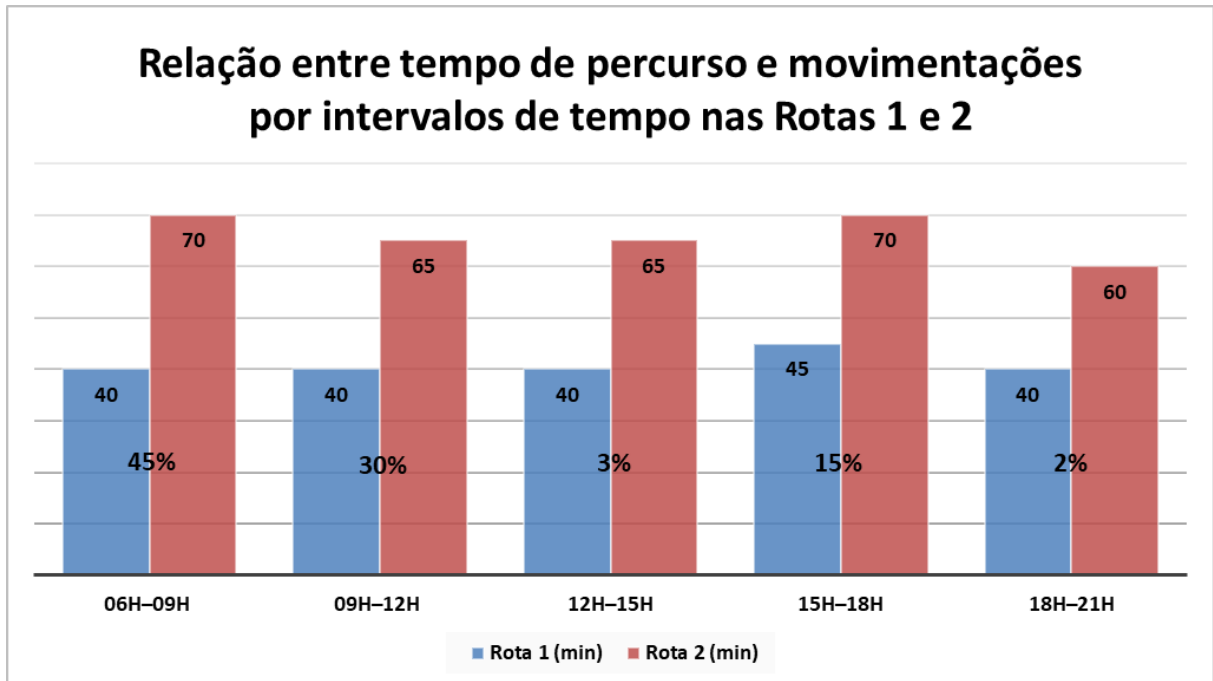
Na Rota 1 (Empresa A para Empresa I, Av. Torquato Tapajós), os tempos de percurso se mantêm relativamente constantes durante grande parte do dia, com mediana de 40 minutos entre 6h e 15h, conforme a Tabela 6. O aumento é observado no período das 16h às 19h, quando a mediana sobe para 45 minutos, indicando leve redução na fluidez viária nesse intervalo. Essa elevação coincide com o início do retorno das atividades urbanas e o aumento do fluxo geral de veículos na Avenida Torquato Tapajós, sugerindo que o acréscimo no tempo de percurso está mais associado ao congestionamento urbano do que à movimentação de semirreboques, já que o percentual de operações da empresa nesse horário é de apenas 15%, e que não condiz com o pico das operações.

Na Rota 2 (Empresa A para Empresa II, Distrito Industrial), os tempos de viagem são mais elevados em todos os períodos, com medianas variando entre 60 e 70 minutos. O maior tempo de percurso ocorre entre 15h e 18h, com mediana de 70 minutos, correspondendo também a um dos horários de maior presença de semirreboques (15% das operações). Durante o pico principal, entre 6h e 9h, o tempo médio é igualmente de 70 minutos, indicando que o trajeto apresenta condições de tráfego intensas tanto no início do dia quanto no fim da tarde. Em contrapartida, nos

horários fora de pico (18h–21h), o tempo de percurso cai para 60 minutos, representando uma redução de aproximadamente 14% em relação ao período de maior movimento.

A Figura 9 apresenta o comparativo dos tempos de percurso nas Rotas 1 e 2 por faixa horária, associado ao percentual de distribuição das movimentações de semirreboques da Empresa de Transporte A ao longo do dia. Essa integração permite visualizar simultaneamente o comportamento distinto entre os trajetos e a relação entre o volume operacional e a variação dos tempos de deslocamento.

Figura 9 – Relação entre tempo de percurso e movimentações por intervalos de tempo nas Rotas 1 e 2.



Fonte: Elaborado pela autora.

Embora o maior volume de movimentações de semirreboques ocorra no período da manhã, representando 45% das operações entre 6h e 9h, o aumento mais expressivo no tempo de percurso foi observado entre 15h e 18h. Esse comportamento sugere que o acréscimo de tempo não está diretamente relacionado à movimentação da Empresa de Transporte A, que nesse intervalo representa apenas 15% das operações, mas sim ao crescimento do fluxo geral de veículos na malha urbana durante o fim da tarde.

O intervalo das 15h às 18h coincide com o pico de tráfego urbano de Manaus, caracterizado pelo retorno das atividades comerciais e pelo aumento da circulação de automóveis particulares, transporte coletivo e veículos de carga em direção aos

terminais e polos industriais. Assim, entende-se que o trânsito urbano exerce influência mais significativa sobre o aumento do tempo de percurso do que a própria movimentação de semirreboques.

Além disso, destaca-se que a Rota 2 (Distrito Industrial) possui maior complexidade viária, com maior número de vias percorridas e fluxo urbano mais intenso, o que também contribui para os tempos mais elevados de deslocamento, independentemente do volume de veículos pesados. Dessa forma, o comportamento observado reforça que a variação temporal nas rotas analisadas resulta da interação entre o fluxo logístico e as condições gerais do trânsito urbano, e não de um único fator isolado.

Portanto, diante das duas análises realizadas, a correlação entre o número de semirreboques e os tempos de percurso e a comparação entre os horários de pico e fora de pico, demonstraram que o impacto do transporte de semirreboques sobre a fluidez viária é condicional ao contexto urbano e à configuração da rota, e não apenas ao número de semirreboques em circulação. Essa análise conjunta evidencia a necessidade de estratégias de planejamento operacional e escalonamento de viagens que considerem as dinâmicas de tráfego urbano, a fim de minimizar atrasos e aumentar a eficiência logística das operações de transporte em Manaus.

4.3 DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos neste estudo confirmam as observações apresentadas na literatura sobre os desafios do transporte de cargas pesadas em ambientes urbanos. Verificou-se que a eficiência das operações logísticas em Manaus está fortemente condicionada à integração entre fatores operacionais e estruturais, reafirmando o que Oliveira Neto (2019) destaca ao apontar que a fluidez das atividades logísticas na capital depende da capacidade das vias em absorver o tráfego proveniente do sistema multimodal. De forma semelhante, Nogueira (2020) enfatiza que a infraestrutura urbana deve ser planejada em articulação com o transporte rodoviário de cargas, sobretudo em cidades com polos industriais consolidados, como Manaus, onde o adensamento viário e a limitação de alternativas de deslocamento intensificam os gargalos logísticos.

Mesmo nos períodos de menor movimentação de semirreboques, como entre 15 h e 18 h, verificou-se aumento no tempo de percurso, o que reflete a influência do tráfego urbano geral sobre as operações. Esse comportamento está em consonância com as observações de Guimarães (2021), que associa a variação da velocidade operacional à densidade de semáforos, ao uso do solo e à qualidade geométrica das vias. Assim, o fato de a Rota 2 apresentar mediana de 70 minutos durante o pico viário, enquanto a Rota 1 se mantém estável em torno de 40 minutos, confirma a ideia de que vias com melhor estrutura física e menor interferência urbana proporcionam maior eficiência operacional, exatamente como indicado na literatura. Esses resultados reforçam que o desempenho operacional é resultado da interação entre a infraestrutura disponível e o padrão de tráfego urbano, e não apenas da presença do transporte pesado.

A distribuição percentual das movimentações de semirreboques ao longo do dia evidenciou que as empresas adotam estratégias de escalonamento de viagens para evitar horários de maior congestionamento, concentrando suas operações nas primeiras horas da manhã. Cerca de 45% das viagens ocorrem entre 06h e 09h e 30% entre 09h e 12h, conforme a Tabela 8, que indica uma estratégia de escalonamento para períodos de menor congestionamento. Essa prática está em sintonia com o que defende Guimarães (2021), segundo o qual o transporte rodoviário de cargas tende a alcançar maior eficiência quando as viagens são programadas fora dos horários de pico. Contudo, o aumento dos tempos de percurso no fim da tarde — mesmo com menor movimentação da empresa — reforça que o congestionamento urbano geral continua sendo o principal limitador da eficiência, corroborando a noção de que as interferências externas têm peso maior do que o volume operacional interno.

Outro aspecto a ser destacado refere-se à influência das características físicas e operacionais dos veículos. Ghisolfi *et al.* (2018) e Silva (2025) observam que o sobrepeso e as dimensões dos semirreboques contribuem para reduzir a velocidade média e intensificar o desgaste do pavimento. Embora o presente estudo não tenha analisado diretamente o peso das cargas, as diferenças entre as rotas, especialmente o desempenho inferior da Rota 2, sugerem que vias com maior complexidade viária, com topografia irregular e presença de tráfego misto, tendem a amplificar esses efeitos. Essa constatação reforça a importância de políticas de manutenção e adequação de infraestrutura voltadas ao transporte de cargas pesadas.

Além disso, destaca-se o papel crescente das tecnologias digitais como suporte à análise e planejamento logístico. Lau (2020) e Hoseinzadeh *et al.* (2020) apontam que o uso de sistemas de rastreamento por GPS e ferramentas digitais de navegação permite a coleta contínua e precisa de dados operacionais, favorecendo diagnósticos mais realistas sobre o comportamento das rotas e os gargalos urbanos. No presente trabalho, a comparação entre tempos de percurso obtidos via GPS e Google Maps demonstrou a confiabilidade dessas ferramentas, reforçando sua utilidade para o monitoramento e planejamento operacional em contextos de infraestrutura limitada, como o de Manaus.

Ademais, a análise dos resultados reforça a importância de se compreender o transporte de cargas urbanas como parte de um sistema logístico integrado, e não como uma atividade isolada. Nogueira (2020) e Oliveira Neto (2019) destacam que, em cidades portuárias como Manaus, a integração entre os modais aquaviário e rodoviário é fundamental para garantir o escoamento eficiente de mercadorias, mas também exige atenção especial aos efeitos colaterais sobre a mobilidade urbana. O presente estudo confirma essa interdependência ao evidenciar que o desempenho operacional das rotas analisadas depende não apenas da gestão das empresas, mas também da capacidade do poder público em prover infraestrutura adequada e políticas de ordenamento do tráfego.

Guimarães (2021) argumenta que o crescimento desordenado do fluxo de cargas em áreas urbanas tende a gerar externalidades negativas, como aumento da lentidão média e maior desgaste viário. Esse cenário se torna mais evidente em Manaus, onde a limitação geográfica e a carência de alternativas de acesso ao Distrito Industrial intensificam a sobrecarga em vias específicas. Portanto, os resultados obtidos neste trabalho não apenas confirmam tendências observadas em outras regiões, mas também revelam as particularidades do contexto amazônico, marcado pela coexistência entre transporte fluvial e rodoviário em um espaço urbano de infraestrutura restrita.

Logo, os resultados obtidos confirmam e reforçam as evidências apresentadas na literatura revisada. A eficiência do transporte de cargas em ambiente urbano depende tanto da organização interna da frota quanto da capacidade de prever e mitigar fatores externos. Estratégias como o uso de janelas operacionais em horários de menor fluxo e a escolha de rotas com melhor perfil viário, conforme já defendido por diversos autores, mostraram-se decisivas para manter a fluidez e a previsibilidade

das operações logísticas em áreas críticas, como o entorno do Polo Industrial de Manaus. Assim, este estudo reforça a necessidade de compreender o transporte de semirreboques não apenas sob o viés operacional, mas também como elemento estratégico de planejamento territorial e urbano.

Por fim, é importante destacar que, embora as análises realizadas tenham evidenciado padrões consistentes, o transporte de cargas em Manaus está sujeito a variáveis dinâmicas, como sazonalidade, volume de produção industrial e condições climáticas, que podem alterar significativamente o comportamento das rotas ao longo do tempo. Dessa forma, recomenda-se que estudos futuros ampliem a coleta de dados para diferentes períodos do ano e integrem novas variáveis, como peso total transportado, tipo de carga e nível de saturação das vias. Essa ampliação permitiria maior precisão na avaliação dos impactos logísticos e contribuiria para o desenvolvimento de estratégias de planejamento mais eficazes voltadas à mobilidade de cargas na região amazônica.

5 CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo analisar o transporte de semirreboques entre as Estações de Transbordo de Carga e seus principais destinos em Manaus, investigando rotas, tempos de percurso e os possíveis impactos desse modal sobre a fluidez do trânsito urbano. Considerando que a logística urbana na capital enfrenta desafios relacionados à infraestrutura limitada e ao aumento das ocorrências envolvendo veículos pesados em vias e horários não permitidos, como apontado na literatura, tornou-se relevante compreender se o transporte de semirreboques contribui para esses impactos ou se apenas evidencia fragilidades já existentes na malha urbana. A partir dessa problemática, foram estruturadas análises que buscaram identificar de que forma o fluxo operacional desses veículos se integra às condições do tráfego urbano.

A pesquisa foi conduzida em duas análises complementares: a primeira avaliou a correlação entre a quantidade de semirreboques na rota e o tempo de percurso, enquanto a segunda comparou o comportamento das rotas em horários de pico e fora de pico, permitindo uma visão mais ampla do desempenho operacional frente às condições do tráfego urbano da capital amazonense. Os resultados evidenciaram que não há relação significativa entre o número de semirreboques e o aumento do tempo de viagem, conforme demonstrado na Rota 1 ($R^2 = 0,0258$), indicando que a movimentação operacional não foi fator gerador de congestionamento. Esse achado foi validado pela coleta de dados em outubro de 2025, nos quais a Rota 1 apresentou $R^2 = 0,0126$ e a Rota 2 apresentou $R^2 = 0,0264$, valores ainda mais baixos que os observados anteriormente e que reforçam a ausência de relação estatisticamente relevante entre o volume de semirreboques e o tempo de percurso no ano subsequente.

Na Rota 1, o tempo médio de percurso manteve-se estável em torno de 40 minutos, com correlação praticamente nula entre movimentação e duração das viagens ($R^2 = 0,0258$), indicando baixa interferência logística sobre o trânsito. Já na Rota 2, que apresentou tempos entre 55 e 75 minutos e correlação moderada ($R^2 = 0,6173$), verificou-se que apesar de possuir menor extensão, a maior complexidade viária, o maior número de vias percorridas, a presença de áreas comerciais e a maior densidade urbana influenciam diretamente no desempenho operacional, reforçando

que fatores viários superam a influência do fluxo logístico. Quando observados os resultados de 2025, nota-se que o comportamento permanece alinhado com essa interpretação, já que mesmo a Rota 2 apresentou R^2 extremamente reduzido (0,0264), indicando que naquele conjunto ampliado de dados o número de semirreboques não exerceu influência significativa sobre a duração das viagens, reforçando que o tráfego urbano geral e a configuração viária continuam sendo os principais determinantes do tempo de percurso.

Em relação à avaliação dos efeitos do transporte de semirreboques no trânsito local, a análise não identificou anomalias significativas na fluidez do tráfego que pudessem ser diretamente associadas à circulação desses veículos no recorte espacial e temporal considerado. As variações observadas nos tempos de percurso ocorreram de forma compatível com o comportamento esperado do tráfego urbano, sobretudo em áreas de maior densidade e complexidade viária, estando mais relacionadas às condições gerais de congestionamento do que à presença específica dos semirreboques. Ainda que tenham sido analisados diferentes horários e níveis de movimentação logística, não se verificaram padrões atípicos ou desvios acentuados nos tempos de viagem que caracterizassem anomalias operacionais atribuíveis ao transporte de semirreboques. Dessa forma, os resultados indicam que eventuais irregularidades na fluidez viária observadas ao longo do dia decorrem principalmente das limitações estruturais das vias e do fluxo global de veículos, devendo as anomalias de tráfego ser compreendidas como fenômenos do sistema urbano como um todo, e não como efeito isolado da operação logística pesada.

A análise comparativa entre horários de pico e fora de pico mostrou que, embora o maior volume de movimentações logísticas ocorra no turno da manhã (6h–9h), o aumento mais expressivo nos tempos de percurso se concentra à tarde (15h–18h). Nessa comparação, constatou-se acréscimo de 12,5% na Rota 1 e 14,3% na Rota 2, comprovando que o pico urbano exerce maior influência na fluidez do que o volume de semirreboques, especialmente nas vias de maior complexidade funcional.

Esses resultados reforçam que a eficiência logística está condicionada à interação entre o fluxo operacional e a capacidade estrutural da malha viária. Dessa forma, o estudo atinge o objetivo geral proposto ao analisar as operações das empresas de transporte de semirreboques e avaliar seus efeitos sobre o trânsito local, demonstrando que a infraestrutura urbana é o principal fator limitante da fluidez, e não a presença dos veículos pesados em si.

Conclui-se, portanto, que o transporte de semirreboques em Manaus enfrenta desafios típicos de um ambiente urbano saturado, marcado pelo tráfego intenso e limitações viárias. Mesmo quando ocorre fora do pico urbano, as rotas que percorrem mais vias e áreas com maior densidade urbana apresentam baixa fluidez, indicando que o desempenho operacional depende da qualidade e da capacidade de escoamento das vias utilizadas. Assim, o estudo evidencia que medidas como o escalonamento das operações logísticas, a priorização de rotas alternativas e investimentos em infraestrutura podem reduzir atrasos e oferecer maior previsibilidade às viagens.

Como problemática emergente, verificou-se que as empresas já adotam o escalonamento das viagens para evitar os horários de pico, o que contribui para que o transporte de semirreboques não sobrecarregue a malha viária. Entretanto, mesmo com baixa movimentação logística, rotas com maior complexidade viária continuam apresentando atrasos, evidenciando que as limitações de infraestrutura permanecem como o principal desafio para a eficiência operacional.

Como contribuição prática, destaca-se o uso de plataformas digitais, como o Google Maps e o Google Earth, que demonstraram potencial para apoiar análises de desempenho viário e auxiliar na tomada de decisões logísticas, sobretudo em regiões com grande variabilidade de tráfego. Essas ferramentas mostraram-se especialmente relevantes para estudos aplicados à logística urbana, por possibilitarem o monitoramento contínuo das condições de tráfego, a estimativa de tempos médios de percurso e a identificação de gargalos operacionais, mesmo em contextos com limitações de dados institucionais. Dessa forma, o estudo contribui ao demonstrar a viabilidade do uso dessas plataformas como suporte técnico para o planejamento logístico e para avaliações preliminares de impacto viário em ambientes urbanos complexos, como o de Manaus.

Quanto às limitações, destaca-se que o estudo não abordou de forma detalhada a influência do peso efetivo transportado pelos semirreboques, nem situações de excesso de carga ou de incompatibilidade entre o peso transportado e a potência do cavalo mecânico, fatores que podem impactar o desempenho operacional. Além disso, a análise concentrou-se em duas rotas específicas e em um recorte temporal delimitado ao mês de outubro, o que, embora adequado aos objetivos propostos, restringe a generalização dos resultados para outros períodos do ano ou para rotas com características viárias distintas. Ainda assim, essas limitações não

comprometem os achados, mas indicam oportunidades de aprofundamento e refinamento metodológico em pesquisas futuras.

Diante das limitações identificadas, apresentam-se as seguintes recomendações para estudos futuros: (i) a ampliação da base empírica, com a inclusão de um maior número de empresas de transporte e Estações de Transbordo de Carga, permitindo a análise de rotas adicionais e a comparação entre diferentes configurações e padrões operacionais no contexto urbano de Manaus; (ii) a incorporação de variáveis relacionadas ao peso efetivo das cargas transportadas pelos semirreboques, bem como à compatibilidade entre a carga e a potência do cavalo mecânico, possibilitando avaliar de forma mais precisa a influência dessas condições mecânicas sobre o desempenho operacional e os tempos de percurso; e (iii) a realização de estudos voltados ao estado de conservação do pavimento e à adequação da infraestrutura viária para a circulação de semirreboques, considerando a qualidade estrutural das vias como um fator determinante para a fluidez do tráfego pesado urbano; e (iv) o desenvolvimento de estudos específicos sobre a mobilidade urbana nos corredores viários Leste–Oeste de Manaus, com ênfase na identificação de gargalos associados à capacidade das vias e às limitações geométricas, como largura de faixas, raios de curva e configuração das interseções, especialmente nos períodos de pico do tráfego urbano.

Desse modo, o estudo reforça que o impacto do transporte de semirreboques sobre a fluidez viária é um fenômeno multifatorial, mas que, nas condições analisadas, não houve evidências de que o modal comprometa significativamente o trânsito urbano. Ao evidenciar que os principais condicionantes do desempenho viário estão associados à infraestrutura existente e ao fluxo geral de tráfego, a pesquisa oferece subsídios técnicos para o planejamento urbano e logístico, contribuindo para uma abordagem mais equilibrada entre eficiência operacional e qualidade de vida urbana. Os resultados obtidos podem apoiar gestores públicos, operadores logísticos e planejadores urbanos na formulação de estratégias que conciliem o crescimento das atividades logísticas com a capacidade da malha viária urbana.

REFERÊNCIAS

ADACHI, Vanessa. **Internet própria, crédito e até avião: como a Bemol está construindo a Amazon da Amazônia**. Capital Reset, 10 dez. 2021. Disponível em: <https://capitalreset.uol.com.br/amazonia/internet-propria-credito-e-ate-aviao-como-a-bemol-esta-construindo-a-amazon-da-amazonia/>. Acesso em: 20 maio 2025.

AGUIAR FILHO, Brizamar Muniz de; BRILHANTE, Paulo Vinícius Silva; SANTOS, José Texeira de A. Neto. **Análise Comparativa entre Diferentes Alternativas de Embarcações no Transporte de Carga Geral**. 26º Congresso Nacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore - SOBENA 2016. Disponível em: <https://cnavblog.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/07/anc3a1lise-comparativa-entre-diferentes-alternativas-de-embarcac3a7c3b5es-no-transporte-de-carga-geral.pdf>. Acesso em: set. 2024.

AGUIAR FILHO, Brizamar Muniz de; BRILHANTE, Paulo Vinícius Silva; SANTOS, José Teixeira de A. Neto. **Análise comparativa entre diferentes alternativas de embarcações no transporte de carga geral**. In: CONGRESSO NACIONAL DE TRANSPORTE AQUAVIÁRIO, CONSTRUÇÃO NAVAL E OFFSHORE – SOBENA, 26., 2016, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro: SOBENA, 2016. Disponível em: <https://cnavblog.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/07/anc3a1lise-comparativa-entre-diferentes-alternativas-de-embarcac3a7c3b5es-no-transporte-de-carga-geral.pdf>. Acesso em: 21 maio 2025.

ALMEIDA, Willian Pedro de. **Avaliação do tráfego e capacidade de interseções urbanas sinalizadas: um estudo de caso no município de Viçosa-MG**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016. Disponível em: <https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/a4bbfee0-7e51-4dde-8069-4ce18940e8cf/content>. Acesso em: 29 maio 2025.

ANGIOLIS, A. C. de. **Análise dos custos diretos das rotas de veículos de cargas do Distrito Industrial considerando o Rodoanel Viário de Manaus**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2022. Disponível em: https://riu.ufam.edu.br/bitstream/prefix/6358/2/TCC_AlineAngiolis.pdf. Acesso em: 15 nov. 2024.

ARAÚJO, Pablo Andrey Arruda de. **Análise da mobilidade urbana através de dados da rede de telefonia móvel celular**. 2014. 108 f. Dissertação (Mestrado em Informática) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

BENTO, Diogo. **Prevenção de acidentes com excesso de carga e o papel da tecnologia**. Opentech. 2024. Disponível em: <https://opentechgr.com.br/blog/excesso-de-carga/>. Acesso em: 21 jan. 2025.

BERNARDI, E. **Aplicações de inteligência de tráfego e impactos no transporte urbano**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em:

https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-11052016-162646/publico/PPGET_Corrigida_2015_ElyBernardi.pdf. Acesso em: 12 dez. 2024.

BONNISON, James A. e ABBAS, Montasir. **Guidelines for Using Video Detection at Intersections and Interchanges**. Texas Transportation Institute, Texas A & M University System, 2003. Disponível em: <https://static.tti.tamu.edu/tti.tamu.edu/documents/4285-S.pdf>. Acesso em: 29 apr. 2025.

BRASIL. Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. **Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD)**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 156, n. 157, p. 1, 14 ago. 2018.

BRASIL. Secretaria de Portos da Presidência da República. **Plano Mestre – Porto de Manaus**. Brasília: SEP/PR, 2013. Disponível em: http://antigo.infraestrutura.gov.br/images/SNP/planejamento_portuario/planos_mestres/versao_completa/pm19.pdf. Acesso em: 19 maio 2025.

BRUM, A., BRITO, A., ALMEIDA, D. D., ADUAR, F., NAVI, M., & TAVARES, R. **Integração multimodal e compartilhamento de serviço para o transporte de cargas e passageiros no Brasil**. 2018. Disponível em: <https://repositorio.itl.org.br/jspui/bitstream/123456789/87/1/Integra%C3%A7%C3%A3o%20multimodal%20e%20compartilhamento%20de%20servi%C3%A7o%20para%20o%20transporte%20de%20cargas%20e%20passageiros%20no%20Brasil.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2025.

BRUSQUE, Rafael. **Trabalho da NASA foi crucial para melhorar a aerodinâmica dos caminhões**. Fenatac, 30 jul. 2024. Disponível em: <https://www.fenatac.org.br/post/trabalho-da-nasa-foi-crucial-para-melhorar-a-aerodin%C3%A2mica-dos-caminh%C3%B5es>. Acesso em: 26 maio 2025.

CALEFFI, F.; LUCCHESI, S. T.; ANZANELLO, M. J.; CYBIS, H. B. B. **Influência das condições climáticas e de acidentes na caracterização do comportamento do tráfego em rodovias**. Transportes, [S. l.], v. 24, n. 4, p. 57–63, 2016. DOI: 10.14295/transportes.v24i4.1104. Disponível em: <https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/1104>. Acesso em: 27 maio. 2025.

CARDOSO, J. M.; ASSIRATI, L.; SETTI, J. R.. **Influência das condições meteorológicas na operação de rodovias de pista dupla paulistas**. In: Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte, 2019, Balneário Camboriú. Anais do 33º Congresso ANPET. Rio de Janeiro: ANPET, 2019.

CÁSSIA, J. **Comunicação, tecnologias e motoristas**. Biptt, 2024. Disponível em: <https://biptt.com.br/comunicacao-tecnologias-motoristas/>. Acesso em: 15 out. 2024.

CHRISTODOULOU, Anastasia; RAZA, Zeeshan; WOXENIUS, Johan. **The integration of RoRo shipping in sustainable intermodal transport chains: The case of a North European RoRo service**. Sustainability, v. 11, n. 8, p. 2422, 2019. <https://doi.org/10.3390/su11082422>.

CIEAM – CENTRO DA INDÚSTRIA DO ESTADO DO AMAZONAS. **Indústrias da Zona Franca de Manaus adotam “tática de guerra” contra seca na Amazônia para escoar produtos.** CIEAM. 2024. Disponível em: <https://cieam.com.br/clipping/industrias-da-zona-franca-de-manaus-adotam-tatica-de-guerra-contra-seca-na-amazonia-para-escoar-produtos>. Acesso em: 20 maio 2025.

CNT. **Como funciona o Waze, principal app de navegação GPS.** Confederação Nacional do Transporte, 2018. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/como-funciona-waze-principal-app-navegacao-gps>. Acesso em: 28 out. 2024.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Informe CNT: Excesso de cargas aumenta custo das empresas.** Brasília: CNT, 2019. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/informe-cnt-excesso-aumenta-custos-empresas>. Acesso em: 26 maio 2025.

COSTA, S. P. da; AGUIAR, E. G. dos S.; GAMA, L. de C. S. .; FONSECA, L. F. da S. da. **Impacts generated by the inspection of excess weight in commercial vehicles on the BR-153 highway in Gurupi – TO.** Research, Society and Development, [S. l.], v. 10, n. 6, p. e47710615998, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i6.15998. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/15998>. Acesso em: 27 may. 2025.

CRUZ, N. R. da; BARROS, E. A. C.; LIMA, O. P.; MADURO, M. R.; CORREIA FILHO, W. L.; DINIZ, P. C. **Traffic management in urban areas: Challenges and strategies.** 2024. Disponível em: <https://www.iosrjournals.org/iosr-ibm/papers/Vol26-issue11/Ser-1/G2611015464.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2025.

DUBOIS, Cédric. **Why inductive loops are being replaced by LiDAR solutions.** 2023. Disponível em: <https://insights.outsight.ai/why-inductive-loops-are-being-replaced-by-lidar-solutions/>. Acesso em: 29 maio 2025.

ECHIZENYA, Kaito e KONDO, Kazuhiro. **The Effect of Density and Placement of BLE Beacons on Indoor Location and Motion Direction Estimation Accuracy.** In: 2021 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC). IEEE, 2021. p. 2023-2027.

EJZENBERG, Sergio. **Os veículos pesados e a segurança no projeto das curvas horizontais de rodovias e vias de trânsito rápido.** 2009. Tese de Doutorado. Master Thesis (in Portuguese), EPUSP, São Paulo, SP, Brasil.

ESMAEILBEIG, Zahra; BOSE, Arindam; SOLTANALIAN, Mojtaba. **Mutual interference mitigation in PMCW automotive radar.** In: 2023 20th European Radar Conference (EuRAD). IEEE, 2023. p. 118-121.

FABRIS, M.; CECCATO, R.; ZANELLA, A. **Efficient sensors selection for traffic flow monitoring: An overview of model-based techniques leveraging network observability.** 2024. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/2404.08588>. Acesso em: 25 dez. 2024.

FARAGHER, Ramsey e HARLE, Robert. **Location fingerprinting with bluetooth low energy beacons.** IEEE journal on Selected Areas in Communications, v. 33, n. 11, p. 2418-2428, 2015.

FENG, Yiheng; HOURDOS, John; DAVIS, Gary A. **Probe vehicle based real-time traffic monitoring on urban roadways**. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, v. 40, p. 160-178, 2014.

FRANÇOSO, Maria Teresa e MELLO, Natália Custódio de. **Influência dos aplicativos de smartphones para transporte urbano no trânsito**. In: 7th Luso-Brazilian Congress for Urban, Regional, Integrated and Sustainable Planning. 2016.

FREITAS, Bruna dos Santos. **Análise de desempenho de rota no perímetro urbano de Manaus: estudo de caso da operação de veículos de carga na av. General Rodrigo Otávio**. 2022. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2022. Disponível em: <https://riu.ufam.edu.br/handle/prefix/6213>. Acesso em: 29 maio 2025.

GAO, Xiangyu; ROY, Sumit; ZHANG, Lyutianyang. **Static background removal in vehicular radar: Filtering in azimuth-elevation-doppler domain**. IEEE Sensors Journal, 2024.

GAWANDE, Shubham; HAJARI, Jitendra; GOLHAR, Yash. **Vehicle detection and classification based on convolutional neural network**. In: Deep Learning Applications. IntechOpen, 2020. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/70785>. Acesso em: 29 maio 2025.

GHISOLFI, Verônica; RIBEIRO, Glaydston; ORRICO, Romulo; CHAVES, Gisele; HOFFMANN, Ivone; JÚNIOR, Leonel; PERIM, Leonardo. **Avaliação de impactos do excesso de peso no transporte rodoviário de cargas**. Apresentado em: 32º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte ANPET. 2018. Gramado-RS.

GODRIVE. **Entenda como a aerodinâmica influencia no desempenho do carro**. GoDrive. 2023. Disponível em: <https://meugodrive.com.br/blog/entenda-como-a-aerodinamica-influencia-no-desempenho-do-carro>. Acesso em: 05 jan. 2025.

GOLDSTEIN, Juliana Esterque. **Análise de otimização de entrega de pedidos de uma indústria de cimento através da utilização de um modelo matemático**. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/21164/1/2018_JulianaEsterqueGoldstein_tcc.pdf. Acesso: 13 dez. 2024.

GOMES, Rosimere e MARTINS, Daiane. **Uso de dados na pesquisa: qual a diferença entre dados primários e secundários?**. LAPEI, UFG. 2022. Disponível em: <https://lapei.face.ufg.br/p/43695-17-uso-de-dados-na-pesquisa-qual-a-diferenca-entre-dados-primarios-e-secundarios> (12/11/2024).

GOOGLE SUPPORT. **Como usar o Waze**. Google Support. 2025. Disponível em: <https://support.google.com/waze/answer/6071177?hl=pt-BR>. Acesso em: 20 out. 2025.

GUIMARÃES, Caio Gustavo Coelho. **Análise dos fatores que influenciam a velocidade de veículos – um estudo da cidade de Fortaleza**. 2021. 59 f. TCC (Graduação em Engenharia Civil)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021

HANSON, B. **E-primer module 9: Freight and intermodal ITS applications**. 2013. Disponível em: <https://its-dr.fhwa.dot.gov/pcb/eprimer/module9p.aspx#top>. Acesso em: 05 dez. 2024.

HOSEINZADEH, Nima; LIU, Yuandong; HAN, Lee; BRAKEWOOD, Candace; MOHAMMADNAZAR, Amin. **Quality of location-based crowdsourced speed data on surface streets: A case study of Waze and Bluetooth speed data in Sevierville, TN**. Computers, Environment and Urban Systems, v. 83, p. 101518, 2020.

JESUS, Ana Beatriz Castro de; OLIVEIRA NETO, Thiago ; SILVA, Fredson Bernardino Araújo da. **CIRCULAÇÃO E INTEGRAÇÃO FÍSICA: DINÂMICAS ATUAIS DAS FRENTE PIONEIRAS NO SUL DO AMAZONAS**. In: Anais do Congresso Brasileiro de Geografia Política, Geopolítica e Gestão do Território - CONGEO. Anais...Sao Paulo (SP) USP, 2023. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/IVCONGEO/674861-CIRCULACAO-E-INTEGRACAO-FISICA--DINAMICAS-ATUAIS-DAS-FRENTE-PIONEIRAS-NO-SUL-DO-AMAZONAS>. Acesso em: 20/05/2025

JIA, Y.; WANG, S.; PENG, J.; GAO, Y.; HU, D.; ZHAO, X. **Evaluation of pavement rutting based on driving safety of vehicles**. International Journal of Pavement Research and Technology, v. 15, p. 457-469, 2021.

KANHERE, N. K., BIRCHFIELD, S. T., & SARASUA, W. A. (2008). **Automatic Camera Calibration Using Pattern Detection for Vision-Based Speed Sensing**. Transportation Research Record, 2086(1), 30-39. <https://doi.org/10.3141/2086-04> (Original work published 2008)

KILCARR, Sean. **Aerodynamics key to fuel economy**. Fleet Owner, 2005. Disponível em: <https://www.fleetowner.com/news/article/21659954/aerodynamics-key-to-fuel-economy>. Acesso em: 26 maio 2025.

KLINKUSOOM, Ladawan; ASWAKUL, Chaodit; JANPUGDEE, Panuwat. **Bluetooth sensors for vehicular traffic monitoring**. In: The 29th International Technical Conference on Circuit/Systems Computers and Communications. 2014.

LAU, M. **Google Maps para iniciantes: inteligência artificial**. Blog do Google Brasil. 2020. Disponível em: <https://blog.google/intl/pt-br/novidades/tecnologia/google-maps-para-iniciantes-inteligencia-artificial/>. Acesso em: 10 nov. 2024.

LIU, Lulu; GUAN, Runwei; MA, Fei; MAN, Ka; SMITH, Jeremy; YUE, Yutao. **Radar-stda: A high-performance spatial-temporal denoising autoencoder for interference mitigation of fmcw radars**. arXiv preprint arXiv:2307.09063, 2023.

MACKEY, Andrew; PETROS, Spachos; LIANG, Song; KONSTANTINOS, Plataniotis. **Improving BLE beacon proximity estimation accuracy through Bayesian filtering**. IEEE Internet of Things Journal, v. 7, n. 4, p. 3160-3169, 2020.

MAGALHÃES, Jéssica de Faria. **A logística urbana e os seus impactos no trânsito: o caso da empresa Souza Cruz em Belo Horizonte**. 2008. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/BUOS-8CCF3L>. Acesso em: 29 maio 2025.

MAIA, Maysa da Silva. **Análise dos fatores de equivalência para veículos de carga em um corredor urbano de Manaus**. 2022. 63 f.: il. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2022. Disponível em: <https://riu.ufam.edu.br/handle/prefix/6195>. Acesso em: 29 maio 2025.

MANAUS (AM). Prefeitura Municipal. **IMMU informa que irregularidades de veículos pesados disparam em 2024**. Manaus, 2025. Disponível em: <https://www.manaus.am.gov.br/noticia/transito/irregularidades-veiculos-pesados-2024>. Acesso em: 29 maio 2025.

MANAUS (AM). Prefeitura Municipal. **Prefeitura intensifica medidas para fiscalizar carretas em Manaus**. Manaus, 2023. Disponível em: <https://www.manaus.am.gov.br/noticia/operacao/prefeitura-intensifica-medidas-para-fiscalizar-carretas-em-manaus/>. Acesso em: 15 jan. 2025.

MARSZALEK, Z.; DUDA, K.; PIWOWAR, P.; STENCEL, M.; ZEGLEN, T.; IZYDORCZYK, J. **Load Estimation of Moving Passenger Cars Using Inductive-Loop Technology**. *Sensors* 2023, 23, 2063. <https://doi.org/10.3390/s23042063>. Acesso em: 29 maio 2025.

MAZUROWSKI, Piotr. **What is rutting in roads?**. Tensar. 2021. Disponível em: <https://www.tensar.co.uk/resources/articles/what-is-rutting-in-roads>. Acesso em: 15 jun. 2025.

MEDINA, Juan C.; RAMEZANI, Hani; BENEKOHAL, Rahim (Ray) F. Evaluation of microwave radar vehicle detectors at a signalized intersection under adverse weather conditions. **Transportation research record**, v. 2366, n. 1, p. 100-108, 2013.

MEIRELLES, Guilherme. **Operação complexa na Amazônia**. Valor Econômico. 2023. Disponível em: <https://valor.globo.com/publicacoes/especiais/revista-infraestrutura-e-logistica/noticia/2023/09/29/operacao-complexa-na-amazonia.ghtml>. Acesso em: 20 maio 2025.

MEMORIA DO TRANSPORTE. **Navegação no Rio Amazonas**. Memória do Transporte. 2021. Disponível em: <https://memoriadotransporte.org.br/galeria/navegacao-no-rio-amazonas/>. Acesso em: set. 2024.

MINEIRO, Márcia; A. Alves da SILVA, Mara; Gracia FERREIRA, Lúcia. **PESQUISA QUALITATIVA E QUANTITATIVA: imbricação de múltiplos e complexos fatores das abordagens investigativas**. *Momento - Diálogos em Educação*, [S. l.], v. 31, n. 03, p. 201–218, 2022. DOI: 10.14295/momento.v31i03.14538. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/momento/article/view/14538>. Acesso em: 10 abr. 2025.

MONTJOYE, Yves-Alexandre de; VERLEYSEN, Michel; BLONDEL, Vincent. **Unique in the crowd: The privacy bounds of human mobility**. *Scientific reports*, v. 3, n. 1, p. 1376, 2013.

MORAES, Hito Braga de. **Sistema de transporte aquaviário**. Belém: Universidade Federal do Pará, 2008. Disponível em:

[https://www.ppgenav.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/documentos/Transporte%20Aqua%20vi%20C3%A1rio%20\(Moraes,%20H.%20B.,%202008\).pdf](https://www.ppgenav.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/documentos/Transporte%20Aqua%20vi%20C3%A1rio%20(Moraes,%20H.%20B.,%202008).pdf). Acesso em: 21 maio 2025.

NANTHAWICHIT, C., NAKATSUJI, T., & SUZUKI, H. **Application of Probe-Vehicle Data for Real-Time Traffic-State Estimation and Short-Term Travel-Time Prediction on a Freeway**. *Transportation Research Record*, 1855(1), 49-59. 2003. <https://doi.org/10.3141/1855-06>

NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE. **Use of Vehicle Probe and Cellular GPS Data by State Departments of Transportation**. Washington, DC: The National Academies Press, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.17226/26094>

OLIVEIRA NETO, Thiago. **O transporte de cargas para a cidade de Manaus nos períodos de vazante extrema em 2023 e em 2024: apontamentos e reflexões iniciais**. *Textos para Discussão LabCit/GEDRI*, v. 6, n. 1, p. 291–326, 2025. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/390421732_O_TRANSPORTE_DE_CARGAS_PARA_A_CIDADE_DE_MANAUS_NOS_PERIODOS_DE_VAZANTE_EXTREMA_EM_2023_E_EM_2024_APONTAMENTOS_E_REFLEXOES_INICIAIS_FREIGHT_TRANSPORTATION_TO_THE_CITY_OF_MANAUS_DURING_PERIODS_OF_EXTREM. Acesso em: 19 maio 2025.

OLIVEIRA NETO, Thiago. **TERRITÓRIO E CIRCULAÇÃO NA AMAZÔNIA CONTEMPORÂNEA: FLUXOS, REDES E SAZONALIDADES**. *Revista Geopolítica Transfronteiriça*, [S.l.], v. 8, n. 2, p. 73-101, mar. 2024. ISSN 2527-2349. Disponível em: <https://periodicos.uea.edu.br/index.php/revistageotransfronteirica/article/view/3392>. Acesso em: set. 2024.

OLIVEIRA NETO, Thiago e NOGUEIRA, Ricardo José Batista. **AS DINÂMICAS DO TRANSPORTE DE CARGA EM RODOVIA E PELO RIO ENTRE MANAUS E PORTO VELHO**. *Revista Labirinto (UNIR)*, v. 32, p. 325-347, 2020. Acesso em: out. 2024.

OLIVEIRA NETO, Thiago e NOGUEIRA, Ricardo José Batista. **Os transportes e as dinâmicas territoriais no Amazonas. Confins**. *Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia*, n. 43. 2019. Disponível em: <https://journals.openedition.org/confins/25365> . Acesso em: out. 2024.

OLIVEIRA, Celso Pereira de; SILVA, Selma Maria de Arruda; SANTANA, Rodrigo Venâncio. **ANÁLISE DA PRECISÃO E DA ACURÁCIA DO GPS DE NAVEGAÇÃO PARA LEVANTAMENTO DE LOCAÇÃO DE PEQUENAS ÁREAS**. *Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia*, [S. l.], v. 11, n. 03, p. 109–125, 2021. DOI: [10.14393/OREG-v11-n03-2020-58574](https://doi.org/10.14393/OREG-v11-n03-2020-58574). Acesso em: 16 maio. 2025.

OLIVEIRA, Helder Alencar de. **Estudo de caso de avaliação da capacidade de interseções urbanas não sinalizadas do tipo quatro ramais**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/15545/1/2011_dis_haoliveira.pdf. Acesso em: 29 maio 2025.

PEROTONI, Marcelo bender; BORDIN JR, Claudio Jose; CASTILHO, Fernando A; VIEIRA, Gustavo Y. M. **UWB Radar Applied to Lane Occupation and Vehicle Classification**. Journal of Communication and Information Systems, [S. l.], v. 38, n. 1, p. 14–20, 2023. DOI: 10.14209/jcis.2023.3. Disponível em: <https://jcis.sbrt.org.br/jcis/article/view/850>. Acesso em: 29 apr. 2025.

PONN, Thomas; KRÖGER, Kai; DIERMEYER, Frank. **Evaluation of image sensors for object detection with deep learning in adverse weather conditions**. Sensors, Basel, v. 20, n. 13, p. 3699, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s20133699>. Acesso em: 29 maio 2025.

PONTES, Biane Silva; SOUZA, Valcilene; BERNARDES, Jefferson; VIANA, Álefe; SILVA, José. **Análise da percepção da mobilidade urbana pelos usuários na cidade de Manaus**. Research, Society and Development, v. 11, n. 17, p. e215111739156-e215111739156, 2022.

PU, Ziyuan; ZHU, Meixin; CUI, Zhiyong; WANG, Y. **Mining public transit ridership flow and origin-destination information from Wi-Fi and Bluetooth sensing data**. arXiv preprint arXiv:1911.01282, 2019. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/1911.01282>. Acesso em: dez. 2024.

RAHMAN, Md Tanvir. **Real-time object detection using YOLOv3 for a self-driving car**. IEEE Xplore, 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9230463>. Acesso em: 29 maio 2025.

RÉUS, T. F.; SILVA JÚNIOR, C. A. P. D.; FONTENELE, H. B. **EFEITO DO EXCESSO DE PESO DOS VEÍCULOS COMERCIAIS DE CARGA A PARTIR DE UMA ANÁLISE EMPÍRICO-MECANÍSTICA**. Revista CIATEC-UPF, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 50-61, 2016. DOI: 10.5335/ciatec.v8i2.5031. Disponível em: <https://seer.upf.br/index.php/ciatec/article/view/5031>. Acesso em: 27 maio. 2025.

RODRIGUES, Edmilson Roberto. **Logística de baixo carbono: avaliação da eficiência do modal cabotagem no transporte de longa distância**. 2018. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3148/tde-20032019-143049/>. Acesso em: 21 maio 2025.

RODRIGUES, Emádina Gomes. **Análise do planejamento e desenvolvimento urbano de Manaus das últimas décadas sob a perspectiva de mobilidade urbana sustentável da Agenda 2030 dos ODS**. 2024. 156 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2024. Disponível em: https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/10465/2/Tese_Em%C3%A1dinaRodrigues_P_PGEOG.pdf. Acesso em: 10 abr. 2025

RODRIGUES, Francielly; XAVIER, Carolina R.; EVSUKOFF, Alexandre G.; ZIVIANI, Artur; VIEIRA, Vinícius da F. **Análise de Mobilidade Urbana em Diferentes Estratos Sociais a partir de uma Rede de Telefonia Móvel**. In: WORKSHOP DE COMPUTAÇÃO URBANA (COURB), 2018, Campos do Jordão. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2018. ISSN 2595-2706.

SALARI, Kambiz e ORTEGA, Jason M. **Aerodynamic integration produces a vehicle shape with a negative drag coefficient**. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 118, n. 27, p. e2106406118, 2021.

SANTANA, J. K. R.; FARIAS, P. L. C.; XAVIER, J. P. S.; FIGUEREIDO, V. P. **Precisão de GPS de smartphones: uma ferramenta para pesquisas acadêmicas e trabalhos em campo**. Revista de Geografia, Recife, v.9, n. 2, p. 255-267, 2019.

SANTOS, Mauro Henrique Barreiros dos. **Cabotagem, uma alternativa sustentável para a região amazônica: o papel da CDP, como autoridade portuária no Estado do Pará**. 2013. 103 p. Monografia - Curso de Especialização em Engenharia e Gestão Portuária. Florianópolis.

SETTI JÚNIOR, Paulo de Tarso; SILVA, Crislaine Menezes da; OLIVEIRA JÚNIOR, Paulo Sérgio de; ALVES, Daniele Barroca Marra; MONICO, João Francisco Galera. **Posicionamento multi-GNSS**. Revista Brasileira de Cartografia, [S. l.], v. 72, p. 1200–1224, 2020. DOI: [10.14393/rbcv72nespecial50anos-56580](https://doi.org/10.14393/rbcv72nespecial50anos-56580). Acesso em: 16 maio. 2025.

SILVA, Crislaine Menezes; SETTI JÚNIOR, Paulo de Tarso; ALVES, Daniele Barroca Marra; MONICO, João Francisco Galera. **Galileo: a consolidação do sistema de posicionamento europeu**. Revista Brasileira de Geomática, v. 8, n. 4, p. 238-255, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.3895/rbgeo.v8n4.11484>. Acesso em: 16 maio. 2025.

SILVA, Daniela Giopato da. **Excesso de carga: quais os principais riscos e infração**. Revista O Carreteiro, 2025. Disponível em: <https://ocarreteiro.com.br/exclusivo/excesso-de-carga-4/>. Acesso em: 26 maio 2025.

SILVEIRA JÚNIOR, A.; RODRIGUES, E. C. C.; NUNES, R. R. **CABOTAGEM: UMA ALTERNATIVA VIÁVEL PARA A REDUÇÃO DO CUSTO DE TRANSPORTE DE CARGA NO BRASIL**. REVISTA FOCO, [S. l.], v. 15, n. 6, p. e602, 2022. DOI: 10.54751/revistafoco.v15n6-030. Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/602>. Acesso em: 21 maio. 2025.

SILVEIRA, Fernando Lang da. **Potência de tração de um veículo automotor que se movimenta com velocidade constante**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33, p. 1304, 2011.

SOUZA, D. F.; MEDEIROS, A. S.; PEREIRA, M. C. **As cidades inteligentes e o papel das tecnologias na mobilidade urbana**. In: PLURIS 2016, 7., 2016, Maceió. Anais [...]. Disponível em: <https://fau.ufal.br/evento/pluris2016/files/Tema%20%20-%20Cidades%20Inovadoras%20e%20%20Inteligentes/Paper800.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2024.

SOUZA, Elizabeth Maria Feitosa da Rocha de; CRUZ, Carla Bernadete Madureira; RICHTER, Monika. **O uso de geotecnologias em sistemas de transporte e organização urbana no Brasil**. Mercator (Fortaleza), v. 13, n. 1, p. 143-152, 2014.

SOUZA, F., FERREIRA, N., Souza, P. H. G., MELLIM, R., & ROCHA, V. **Análise e Aplicação de Heurísticas para Definição de Rotas com Solução Otimizada Aplicado em uma Indústria do Ramo Alimentício**. In CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. 2019 (Vol. 40). Disponível em:

https://aprepro.org.br/conbrepro/2019/anais/arquivos/07092019_000756_5d24049463be9.pdf. Acesso em: 22 nov. 2024.

SOUZA, J. F. de. **PRIVACIDADE E DADOS PESSOAIS: O DEBATE ÉTICO SOBRE O USO DE BIG DATA**. Revista Ilustração, [S. l.], v. 5, n. 6, p. 27–51, 2024. DOI: [10.46550/ilustracao.v5i6.340](https://doi.org/10.46550/ilustracao.v5i6.340). Acesso em: 16 maio. 2025.

SPACHOS, Petros e PLATANIOTIS, Konstantinos. **BLE beacons in the smart city: Applications, challenges, and research opportunities**. IEEE Internet of Things Magazine, v. 3, n. 1, p. 14-18, 2020.

TELTAYEV, B.; ISKAKBAYEV, A.; MASSANOV, A.; AITBAYEV, Y.; ZHAISANBAYEV, A. **Investigation of rut formation in asphalt concrete pavement**. In: RUJIKIATKAMJORN, C.; XUE, J.; INDRARATNA, B. (ed.). Proceedings of the 5th International Conference on Transportation Geotechnics (ICTG) 2024, Volume 3. Singapore: Springer, 2025. (Lecture Notes in Civil Engineering, v. 404). Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-97-8221-5_7. Acesso em: 15 jun. 2025.

THIEGHI, Leila Thomazelli. **Utilização do aplicativo “Waze” no cálculo de distância através da integral definida**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 43, p. e20210020, 2021.

TROMPOWSKY, Maurício. **A seca do Rio Amazonas e os impactos logísticos e econômicos para a região Norte**. Portos e Navios, 2023. Disponível em: <https://www.portosenavios.com.br/artigos/artigos-de-opiniao/artigo-a-seca-do-rio-amazonas-e-os-impactos-logisticos-e-economicos-para-a-regiao-norte>. Acesso em: 10 abr. 2025.

VIOTTI, Luiz Eduardo. **Como os dados de telefonia móvel podem nos ajudar a compreender e melhorar a mobilidade urbana**. Connected Smart Cities. 2021. Disponível em: <https://portal.connectedsmartcities.com.br/2021/06/17/como-os-dados-de-telefonia-movel-podem-nos-ajudar-a-compreender-e-melhorar-a-mobilidade-urbana/>. Acesso em: 14 mai. 2025.

XU, G. **Quality of location-based crowdsourced speed data on surface streets: A case study of Waze and Bluetooth speed data in Sevierville, TN**. 2020. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/196903079.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2024.

YAMAUE, Davi e HAMBRUSCH, Guilherme Henrique. **Análise do desempenho aerodinâmico em veículos de carga rodoviário através da modelagem numérica computacional**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

YUSUF, O., RASHEED, A., LINDSETH, F. **Exploring Urban Mobility Trends Using Cellular Network Data**. 2025. In: Kioumarsis, M., Shafei, B. (eds) The 1st International Conference on Net-Zero Built Environment. NTZR 2024. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 237. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-69626-8_138

ZAHNOW, Renee e ABEWICKREMA, Wanuji. **Examining regularity in vehicular traffic through Bluetooth scanner data: Is the daily commuter the regular road user?** Journal of Transport Geography, v. 109, p. 103578, 2023.

ZANDBERGEN, Paul A. **Accuracy of iPhone locations: A comparison of assisted GPS, WiFi and cellular positioning.** Transactions in GIS, v. 13, p. 5-25, 2009.

ZHANG, Qi; JIANG, Chunsheng; ZHANG, Jing; WEI, Yuguang. **Application of genetic algorithm in functional area layout of railway logistics park.** Procedia-Social and Behavioral Sciences, v. 138, p. 269-278, 2014.

ZHU, Yuan; WANG, Yanqiang; AN, Yadong; YANG, Hong; PAN, Yiming. **Real-Time Vehicle Detection and Urban Traffic Behavior Analysis Based on UAV Traffic Videos on Mobile Devices.** arXiv preprint, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.16246>. Acesso em: 29 maio 2025.