



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

VITOR HUGO FAGUNDES DE SOUSA

**IMPACTOS NO TRÁFEGO E MOBILIDADE REGIONAL NA DUPLICAÇÃO DA
PONTE GOVERNADOR JOSÉ WILSON SIQUEIRA CAMPOS: UM ESTUDO DE
CASO**

PALMAS

2025

VITOR HUGO FAGUNDES DE SOUSA

**IMPACTOS NO TRÁFEGO E MOBILIDADE REGIONAL NA DUPLICAÇÃO DA
PONTE GOVERNADOR JOSÉ WILSON SIQUEIRA CAMPOS: UM ESTUDO DE
CASO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel no Curso Superior de Engenharia Civil
do Instituto Federal do Tocantins, Campus
Palmas.

Orientador: Me. Rodrigo Araújo Fortes

**PALMAS
2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

S725i Sousa, Vitor Hugo Fagundes

Impactos no tráfego e mobilidade regional na duplicação da Ponte Governador José Wilson Siqueira Campos: Um estudo de caso / Vitor Hugo Fagundes Sousa. – Palmas, TO, 2025.

44 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2025.

Orientador: Me. Rodrigo Araújo Fortes

1. Gestão de tráfego. 2. Infraestrutura viária. 3. Simulation of Urban MObility. I. Fortes, Rodrigo Araújo. II. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

VITOR HUGO FAGUNDES DE SOUSA

IMPACTOS NO TRÁFEGO E MOBILIDADE REGIONAL NA DUPLICAÇÃO DA PONTE GOVERNADOR JOSÉ WILSON SIQUEIRA CAMPOS: UM ESTUDO DE CASO

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação do curso de Engenharia Civil
Instituto Federal do Tocantins - Campus Palmas,
como exigência à obtenção do grau em
Engenheiro Civil.

Aprovado em: 03/07/2025

BANCA AVALIADORA



Documento assinado digitalmente
RODRIGO ARAUJO FORTES
Data: 08/08/2025 17:58:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Rodrigo Araújo Fortes

Orientador



Documento assinado digitalmente
ADRIANO DOS GUIMARAES DE CARVALHO
Data: 08/08/2025 19:03:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Adriano dos Guimarães de Carvalho

Avaliador 1



Documento assinado digitalmente
PAULO ROBERTO DE OLIVEIRA JUNIOR
Data: 08/08/2025 18:48:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Paulo Roberto de Oliveira Júnior

Avaliador 2

AGRADECIMENTOS

A realização deste Trabalho de Conclusão de Curso representa a finalização de uma longa jornada, que não teria sido possível sem o apoio, incentivo e a presença de pessoas essenciais em minha vida. A elas, dedico minha mais profunda e sincera gratidão.

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pela força e discernimento que me concedeu durante todo o processo de elaboração deste trabalho. Gostaria de agradecer à minha família, meu alicerce e porto seguro. Aos meus pais, Raimundo Facundes e Cidileia de Sousa, e as minhas irmãs, Larissa Fagundes e Manuela de Souza, por todo o amor incondicional, pela paciência nos momentos de ausência e pelo incentivo constante para que eu nunca desistisse dos meus sonhos.

Ao meu orientador, Professor Me. Rodrigo Araújo Fortes, expresso meu profundo respeito e gratidão. Sua orientação precisa, seus conselhos valiosos e sua disposição em ajudar foram fundamentais para a superação dos inúmeros desafios técnicos e para a condução deste trabalho com rigor metodológico. Obrigado por compartilhar seu vasto conhecimento e por acreditar no potencial desta pesquisa desde o início.

Um agradecimento mais que especial à Emilly Kauany minha companheira de todas as horas. Obrigado por cada palavra de motivação, por entender as horas dedicadas a este projeto e por comemorar cada pequena vitória comigo. Sua parceria tornou esta caminhada muito mais leve e significativa.

Aos meus amigos, companheiros de jornada, agradeço pela amizade, pelas palavras de ânimo e pelos indispensáveis momentos de descontração que aliviaram a pressão da vida acadêmica.

A todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte desta caminhada, o meu muito obrigado.

RESUMO

Este estudo tem como finalidade principal a avaliação dos impactos decorrentes da possível duplicação da Ponte Governador José Wilson Siqueira Campos, que liga o município de Palmas ao distrito de Luzimangues, no município de Porto Nacional, no que tange à administração do tráfego e à mobilidade regional. A duplicação dessa ponte visa à melhoria da infraestrutura de transporte na região e, neste estudo, se busca verificar se tal intervenção seria benéfica para a fluidez do tráfego e mobilidade urbana, tanto do ponto de vista da técnica como em termos da análise dos aspectos socioeconômicos e ambientais. A metodologia adotada inclui uma revisão bibliográfica sobre modelos de gestão do tráfego com base em modelagem e análises de similaridades de infraestrutura viária. Foi realizada a coleta de dados sobre o tráfego atual, de forma manual para alcançar os resultados mais próximos da realidade, com a finalidade de proporcionar uma base para o levantamento dos impactos da duplicação da ponte. Para modelagem do tráfego e projeções de impactos da ponte duplicada a fim de fornecer uma análise detalhada das variáveis de fluxo de veículos, segurança para o tráfego e integração regional, foi utilizado o Simulation of Urban MObility (SUMO) como o sistema de simulação. Os resultados obtidos podem contribuir para a posterior definição de diretrizes para gestão do tráfego, visando no futuro o planejamento urbano para a região.

Palavras-chave: Gestão de tráfego. Infraestrutura viária. Simulation of Urban MObility

ABSTRACT

This study's main purpose is to evaluate the impacts resulting from the potential duplication of the Governador José Wilson Siqueira Campos Bridge, which connects the municipality of Palmas to the district of Luzimangues, in the municipality of Porto Nacional, regarding traffic administration and regional mobility. The duplication of this bridge aims to improve the transportation infrastructure in the region, and this study seeks to verify if such an intervention would be beneficial for traffic flow and urban mobility, from both a technical standpoint and in terms of analyzing socioeconomic and environmental aspects. The methodology adopted includes a bibliographic review on traffic management models based on modeling and analyses of road infrastructure similarities. Data collection on the current traffic was performed manually to achieve results closer to reality, with the purpose of providing a basis for assessing the impacts of the bridge duplication. For traffic modeling and projections of the duplicated bridge's impacts, in order to provide a detailed analysis of vehicle flow variables, traffic safety, and regional integration, Simulation of Urban MObility (SUMO) was used as the simulation system. The results obtained can contribute to the subsequent definition of guidelines for traffic management, aiming for future urban planning for the region.

Keywords: Traffic management. Road infrastructure. Simulation of Urban MObility.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Contagem manual de tráfego realizada em campo	28
Quadro 2 - Comparativo de Desempenho por Tipo de Veículo.....	34

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fila de veículos na ponte devido a frenagem nos radares	16
Figura 2 - Trecho das vazantes da Ponte de Palmas terá quatro vias para os veículos	17
Figura 3 - Projeto para aterro da ponte entre Palmas e Luzimangues	18
Figura 4 - Ponte principal terá passarela metálica para pedestres e ciclistas	18
Figura 5 - Exemplo de uma simulação e interface do SUMO.....	19
Figura 6 - Fluxograma do trabalho	21
Figura 7 - Localização Ponte Governador José Wilson Siqueira Campos	22
Figura 8 - Posicionamento estratégico para contagem manual de veículos (Sentido: Luzimangues-Palmas)	23
Figura 9 - Posicionamento estratégico para contagem manual de veículos (Sentido: Palmas-Luzimangues)	23
Figura 10 - Obtenção de imagem georreferenciada no QGIS	25
Figura 11 - Seleção da ponte no OSM para gerar a versão inicial da modelagem.....	26
Figura 12 - Vias da ponte extraídas automaticamente para o Sumo com a imagem georreferenciada	26
Figura 13 - Refinamento Geométrico e de Conectividade no Netedit	27
Figura 14 - Duplicação das vias no Netedit	27
Figura 15 - Definição dos tipos de Veículos (vType)	29
Figura 16 - Criação dos Fluxos de Tráfego (<flow>)	29
Figura 17 - Estrutura da configuração para o cenário atual como exemplo	30
Figura 18 - Execução da simulação do cenário atual	31
Figura 19 - Execução da simulação do cenário da ponte duplicada.....	31
Figura 20 - Comparativo de tempo médio de viagem	35
Figura 21 - Comparativo de tempo de espera.....	35

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	12
1.2 JUSTIFICATIVA	12
1.3 OBJETIVOS	13
1.3.1 Objetivo Geral	13
1.3.2 Objetivos Específicos	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 MOBILIDADE URBANA E GESTÃO DE TRÁFEGO	14
2.2 A PONTE GOVERNADOR JOSÉ WILSON SIQUEIRA CAMPOS	14
2.3 PROBLEMAS ENFRENTADOS PELA PONTE	15
2.4 PROPOSTA DE DUPLICAÇÃO DA PONTE	16
2.5 O SISTEMA SIMULATION OF URBAN MOBILITY	18
2.5.1 Modelagem e Simulação com o Software SUMO	19
2.5.2 Funcionalidades do SUMO para análise de impactos no tráfego	20
3 METODOLOGIA	20
3.1 OBJETO DE ESTUDO	21
3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	22
3.2.1 Coleta de dados	22
3.2.2 Definição dos Cenários e Indicadores de Desempenho	24
3.3 MICROSSIMULAÇÃO	24
3.3.1 Ferramenta Computacional	24
3.3.2 Construção do Modelo de Rede (.net.xml)	25
3.3.3 Modelagem da Demanda de Tráfego (.rou.xml)	28
3.3.4 Configuração e Execução da Simulação (.sumocfg)	29
3.4 FERRAMENTAS UTILIZADAS	32
4 ANÁLISES E RESULTADOS	33
4.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A METODOLOGIA	33
4.2 ANÁLISE DE DESEMPENHO DO TRÁFEGO	33
4.2.1 Análise Quantitativa por Tipo de Veículo	33
4.2.2 Análise Gráfica do Desempenho	34
4.2.3 Discussão dos Resultados de Tráfego	35

4.3 ANÁLISE DE IMPACTO AMBIENTAL	36
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37
REFERÊNCIAS	38
APÊNDICE A - DEFINIÇÃO DOS TIPOS DE VEÍCULO (VTYPE)	40
APÊNDICE B - CRIAÇÃO DOS FLUXOS DE TRÁFEGO (<FLOW>).....	41
APÊNDICE C - CONFIGURAÇÃO DE EXECUÇÃO DA SIMULAÇÃO (.SUMOCFG)	44

1 INTRODUÇÃO

A mobilidade urbana e a infraestrutura de transporte são questões centrais no planejamento das grandes cidades e regiões metropolitanas. No caso da cidade de Palmas, a Ponte Governador José Wilson Siqueira Campos, inaugurada em 2002, é um ponto de conexão vital entre a capital e o distrito de Luzimangues, em Porto Nacional. Com o crescimento da população e a intensificação das atividades econômicas na região, a infraestrutura viária tornou-se um dos principais desafios para a gestão do tráfego e o desenvolvimento sustentável da área (Silva, 2020; Oliveira, 2018). Nesse cenário, a duplicação da ponte é discutida como uma possível solução para melhorar a fluidez do tráfego e integrar de maneira mais eficiente as duas regiões.

Segundo Souza (2021), a expansão de infraestruturas viárias em áreas urbanas tem o potencial de resolver problemas de congestionamento e melhorar a conectividade entre regiões, além de gerar impactos positivos no desenvolvimento econômico local. Contudo, como apontado por Costa (2020), é fundamental realizar uma análise detalhada dos impactos antes de implementar grandes obras de infraestrutura, de forma a garantir que elas atendam às necessidades reais da população e não resultem em consequências inesperadas.

Este estudo visa examinar os impactos da duplicação da Ponte Governador José Wilson Siqueira Campos na administração do tráfego e na mobilidade da área. Estarão em foco tanto os aspectos técnicos de infraestrutura viária quanto os impactos sociais e econômicos para a região de Palmas e Luzimangues. Para tal, será incluída uma metodologia de revisão bibliográfica sobre gestão do tráfego, mobilidade urbana e infraestrutura viária, e a coleta de dados existentes de tráfego, bem como a simulação de cenários futuros utilizando o software SUMO. A simulação permitirá a análise do comportamento do tráfego, quando a ponte estiver duplicada, prevendo-se os efeitos da intervenção na fluidez do trânsito, segurança viária e integração regional.

A duplicação da ponte representa não apenas uma oportunidade de melhoria na infraestrutura de transporte, mas também um desafio para garantir que o projeto seja viável e traga benefícios reais para a comunidade. Portanto, o presente estudo busca fornecer uma base sólida para a tomada de decisões, contribuindo para o planejamento de políticas públicas que possam otimizar a gestão do tráfego e promover o desenvolvimento sustentável da região.

1.1 Problema de pesquisa

A Ponte Governador José Wilson Siqueira Campos localizada em Palmas, serve como principal ligação com o distrito de Luzimangues em Porto Nacional. Com o aumento da população de Palmas e o surgimento de novos moradores de Luzimangues, o aumento da demanda de infraestrutura necessária para a mobilidade e o aumento de trânsito entre as regiões de Palmas e Luzimangues, a ponte não consegue atender a demanda de tráfegos atual e, ainda menos, do futuro. Nesse contexto, busca-se avaliar a questão proposta neste trabalho: Qual seria o impacto da duplicação da Ponte Governador José Wilson Siqueira Campos na fluidez do tráfego e na mobilidade regional considerando a capacidade de tráfego, segurança rodoviária, bem como o desenvolvimento da região? O estudo buscará demonstrar se a duplicação da ponte contribuirá para a melhoria de uma infraestrutura rodoviária significativa com a análise de fluxo de tráfego e projeções futuras e como isso afetará o desenvolvimento da região e a qualidade de vida viária. A pesquisa também considera alternativas à duplicação e avalia a viabilidade da obra em relação a outras possíveis soluções para os desafios de mobilidade enfrentados pela região.

1.2 Justificativa

A Ponte Governador José Wilson Siqueira Campos é parte vital da infraestrutura de transporte que conecta a capital Palmas, ao Distrito de Luzimangues, município de Porto Nacional. O aumento da população e o desenvolvimento econômico têm aumentado a demanda por soluções eficientes de transporte, resultando assim em um exponencial aumento da demanda por sistemas que melhorem a mobilidade e o tráfego viário. Souza (2021) argumenta que o planejamento adequado da infraestrutura rodoviária pode garantir o suprimento das necessidades de uma população em rápida expansão e a utilização eficaz dos sistemas de transporte. Uma das propostas para mitigar os problemas resultantes do aumento do tráfego é a duplicação da ponte. No entanto, antes de se embarcar em qualquer projeto, é necessário realizar uma avaliação dos impactos da ponte na qualidade viária, mobilidade e desenvolvimento regional.

Este estudo culmina por fornecer informações vitais a respeito dos prováveis impactos da duplicação da ponte em relação à dinâmica viária, e contribuição tanto para a tomada de decisão a respeito da viabilidade do projeto e de seus benefícios, especialmente no que diz respeito à qualidade de vida dos usuários e à economia local. Costa (2020) nota que a confecção

de estudos de impacto relacionados a obras de infraestrutura é crucial para evitar que investimentos em infraestrutura rodoviária resultem em consequências indesejadas, a exemplo de congestionamento e redução da segurança.

A motivação para realizar este estudo é o fato de que é essencial para a racionalização da infraestrutura dos cidadãos que são afetados diretamente pelos projetos. Além disso, outros estudos deste tipo, fornecendo dados realistas sobre as soluções de infraestrutura, podem ser úteis para o desenvolvimento de políticas públicas que realmente atendam às necessidades das pessoas. Isso também fornece uma base para discussões futuras sobre intervenções de infraestrutura nas regiões de Palmas e Luzimangues. Além disso, este estudo será especialmente útil para engenheiros, gestores e outros profissionais que lidam com planejamento urbano e infraestrutural. Isso porque o estudo apresentará informações vitais sob a forma de dados e previsões que serão utilizados para a tomada de decisões informadas no que diz respeito à infraestrutura viária.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo deste estudo é avaliar os impactos da duplicação da Ponte Governador José Wilson Siqueira Campos no tráfego e na mobilidade regional, considerando os efeitos sobre a fluidez do tráfego, a segurança viária, a redução de congestionamentos e a melhoria da integração entre as regiões de Palmas e Luzimangues.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar o tráfego atual na Ponte Governador José Wilson Siqueira Campos, incluindo volumes de veículos, horários de pico e tipos de veículos, para embasar a análise dos impactos da duplicação.
- Avaliar os efeitos da duplicação na fluidez do tráfego, utilizando microsimulação para prever melhorias na circulação de veículos e redução de congestionamentos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Mobilidade urbana e gestão de tráfego

A mobilidade urbana tornou-se um dos principais desafios das cidades brasileiras e do mundo devido ao crescimento populacional acelerado. Para além de viagens de veículos, também envolve deslocação de pessoas, serviços e mercadorias. Isso tem um impacto direto na qualidade de vida e eficiência econômica de diversas regiões. Tendo a mobilidade intrínseca como aspecto, a gestão do tráfego é um ramo na teoria de mobilidade urbana que se destina controlar e monitorar fluxos de tráfego a fim de reduzir congestionamentos e permitir deslocamentos mais rápidos e eficientes para todos os utilizadores das vias (Oliveira, 2018). Desde os sistemas de tráfego até à computação para análise em tempo real de dados de uso das vias que cobrem todas estas ferramentas resultados de gestão. Elas visam uma melhoria constante.

No contexto de Palmas e sua região metropolitana, o sistema de tráfego enfrenta desafios devido ao rápido crescimento populacional e à expansão de áreas comerciais e residenciais, com o aumento da demanda por transporte. A Ponte Governador José Wilson Siqueira Campos, uma infraestrutura crucial para conectar a capital, Palmas, ao distrito de Luzimangues em Porto Nacional complementando a rota para cidades vizinhas que se localizam na mesma direção, desempenha um papel vital na mobilidade regional. A duplicação da ponte tem sido considerada uma solução para melhorar o fluxo de veículos e a conectividade, minimizando os efeitos de congestionamento durante os horários de pico (Silva, 2020).

2.2 A Ponte Governador José Wilson Siqueira Campos

A Ponte Governador José Wilson Siqueira Campos, inaugurada em 2002, é uma das principais vias de ligação que conecta a capital Palmas ao distrito de Luzimangues, além de ser usada como parte da rota de acesso a cidades vizinhas que se encontram no sentido Oeste do mapa. Desde seu projeto inicial, a estrutura foi desenhada para um futuro alargamento, reconhecendo que o crescimento populacional e a elevação do tráfego exigiriam uma maior capacidade. Essa previsão mostrava-se acertada diante da expansão projetada para Palmas, uma das cidades de maior porte no estado do Tocantins. A capacidade inaugural atendia às necessidades da época. Todavia, com o avanço da urbanização e o aumento significativo no número de veículos, sinais de sobrecarga começaram a surgir, principalmente nos horários de

pico, como nas manhãs e fins de tarde devido a população crescente de Luzimangues se deslocarem para a capital ou inversamente.

Com o aumento da frota de veículos e expansão urbana, o fluxo viário tornou-se mais denso, alongando os tempos de locomoção, ainda que sem filas constantes. Contudo, os congestionamentos e as paralisações se agravam quando acidentes obrigam o fechamento temporário das vias. Esses eventos revelam a vulnerabilidade estrutural diante de situações excepcionais e a carência de itinerários alternativos para absorver a demanda nos momentos mais críticos. Diante desse cenário, a duplicação da ponte, prevista na sua concepção original, emerge como solução necessária para mitigar os impactos do tráfego incrementado e melhorar a fluidez da mobilidade entre Palmas e Luzimangues.

A análise das condições de trafegabilidade em infraestruturas urbanas é um tema amplamente abordado por pesquisadores, dada sua relevância para a mobilidade urbana. Luduvico (2020), em seu estudo sobre a Ponte do Paraíso (Santa Cruz, RN), destacou a importância de avaliações volumétricas para determinar o Nível de Serviço das vias e garantir que a infraestrutura suporte adequadamente o aumento do tráfego decorrente da urbanização. Embora a Ponte Governador José Wilson Siqueira Campos tenha características distintas, o estudo reforça a necessidade de projetar e adaptar pontes para atender à demanda crescente, fator que motivou a escolha deste tema para o presente trabalho.

2.3 Problemas enfrentados pela ponte

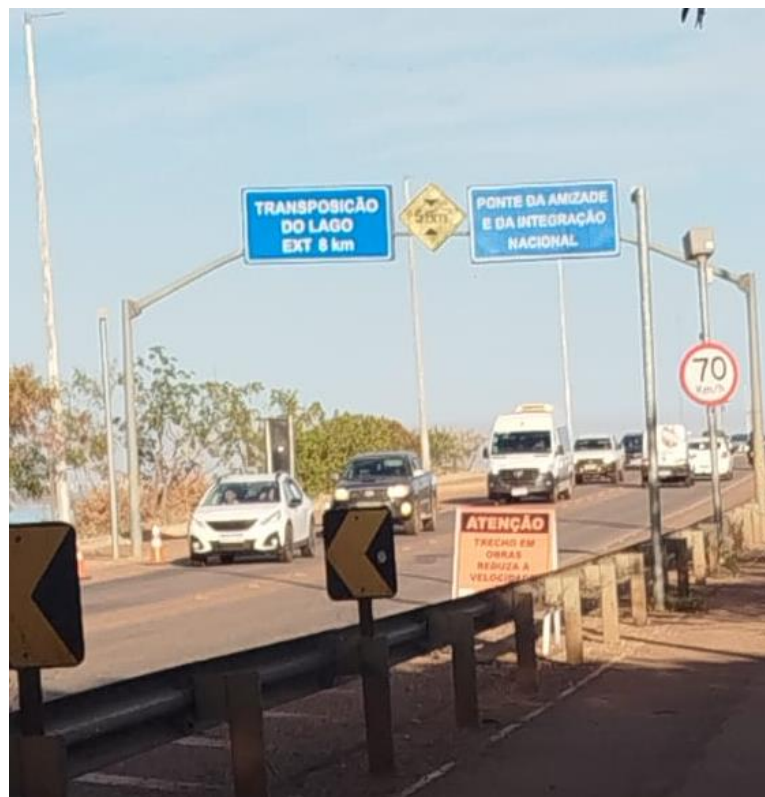
A Ponte Governador José Wilson Siqueira Campos, que liga Palmas ao distrito de Luzimangues e à cidade de Porto Nacional, enfrenta uma grande lentidão no tráfego devido à alta densidade de veículos. A ponte apresenta sinais de sobrecarga no fluxo do trânsito, especialmente durante os horários de pico, quando o fluxo de veículos é elevado. Essa densidade de tráfego resulta em velocidades médias reduzidas e longos tempos de deslocamento, principalmente em momentos de alta demanda.

Embora o tráfego na ponte seja denso, o congestionamento severo e as paralisações ocorrem com maior frequência quando há acidentes. Nesses casos, as vias precisam ser temporariamente fechadas para remoção dos veículos envolvidos e para os trabalhos de atendimento às vítimas. Esses acidentes aumentam ainda mais o impacto no tráfego, pois a redução da capacidade da ponte provoca engarrafamentos significativos e interrupções no fluxo de veículos. Além disso, a falta de infraestrutura adequada para pedestres e ciclistas agrava

ainda mais a situação, pois não há faixas exclusivas que garantam a segurança desses usuários, aumentando os riscos de acidentes.

A elevada concentração de veículos, somada à falta de alternativas viárias e ao risco de acidentes, torna a duplicação da ponte uma medida importante para melhorar a fluidez do tráfego e reduzir o impacto causado por eventuais incidentes. Na Figura 1 é evidenciado uma fila de veículos se formando devido ao grande fluxo e pela frenagem nos radares presentes na ponte.

Figura 1 - Fila de veículos na ponte devido a frenagem nos radares



Fonte: Autor (2025)

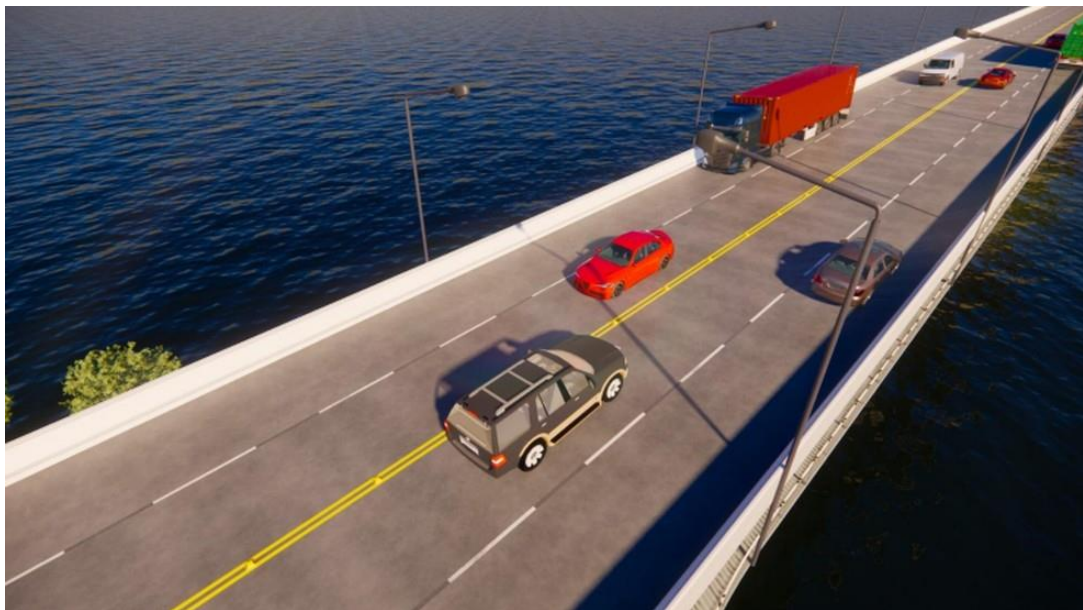
2.4 Proposta de duplicação da ponte

A duplicação da Ponte Governador José Wilson Siqueira Campos é uma proposta que visa ampliar a capacidade de tráfego da estrutura, reduzindo os congestionamentos e melhorando a fluidez do tráfego. A duplicação incluiria a construção de novas faixas para veículos (Figura 2), além da reformulação das áreas aterradas (Figura 3) e melhorias na sinalização e na segurança, com a criação de passarelas exclusivas para pedestres e ciclistas (Figura 4). Este projeto é visto como uma solução para a crescente demanda de tráfego,

permitindo que a ponte suporte volumes de veículos mais altos sem causar grandes congestionamentos. Além disso, a duplicação pode diminuir os tempos de viagem, melhorar a segurança e reduzir a emissão de poluentes pela diminuição da fila de veículos.

O custo estimado para a duplicação da ponte e parte da TO-080 gira em torno de R\$ 250 milhões, conforme fontes oficiais (Governo do Tocantins, 2024). Esse investimento seria crucial para garantir que a infraestrutura viária de Palmas possa acompanhar o crescimento da cidade e as necessidades de mobilidade da população. A proposta, no entanto, necessita ser cuidadosamente planejada e avaliada. O uso de ferramentas de simulação, como o SUMO, permitirá prever com precisão os impactos dessa duplicação no tráfego, ajudando a identificar pontos críticos e a otimizar a execução da obra.

Figura 2 - Trecho das vazantes da Ponte de Palmas terá quatro vias para os veículos



Fonte: AGETO (Agência de Transportes, Obras e Infraestrutura do Tocantins) (Acesso em 20/01/2025)

Figura 3 - Projeto para aterro da ponte entre Palmas e Luzimangues



Fonte: AGETO (Agência de Transportes, Obras e Infraestrutura do Tocantins) (Acesso em 20/01/2025)

Figura 4 - Ponte principal terá passarela metálica para pedestres e ciclistas



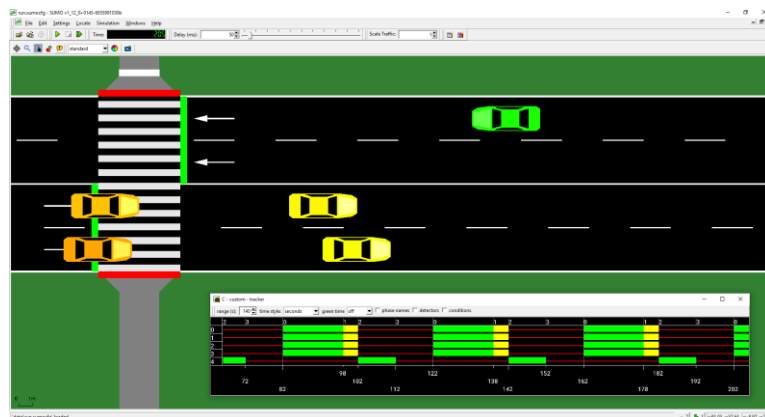
Fonte: AGETO (Agência de Transportes, Obras e Infraestrutura do Tocantins) (Acesso em 20/01/2025)

2.5 O sistema Simulation of Urban MObility

O Simulation of Urban MObility (SUMO) é uma plataforma de código aberto amplamente utilizada para a simulação de tráfego em ambientes urbanos. A plataforma foi desenvolvida para fornecer uma ferramenta acessível e eficaz para simulação de tráfego, oferecendo uma visão detalhada sobre o comportamento dos veículos, os fluxos de tráfego, as

interações entre diferentes modos de transporte e os impactos de mudanças na infraestrutura viária. O SUMO é capaz de simular o tráfego de grandes áreas urbanas, levando em consideração variáveis como a capacidade das vias, o comportamento dos motoristas, os semáforos, as rotas alternativas e as emissões de poluentes (Cervone & Schmitt, 2020).

Figura 5 - Exemplo de uma simulação e interface do SUMO



Fonte: Eclipse Projects – SUMO (Acesso em 20/01/2025)

2.5.1 Modelagem e Simulação com o Software SUMO

Neste estudo, a ferramenta de microsimulação de código aberto SUMO, em sua versão 1.23.1, foi empregada para desenvolver e avaliar quantitativamente o impacto da duplicação da Ponte Governador José Wilson Siqueira Campos. Foram modelados dois cenários distintos para permitir uma análise comparativa direta:

- **Cenário Base:** Representando a infraestrutura atual da ponte, com suas características geométricas e de capacidade existentes.
- **Cenário Proposto:** Simulando a duplicação da obra de arte especial, o que foi implementado no modelo através da duplicação do número de faixas de rolamento (lanes) nas principais vias (edges) que compõem a travessia.

O modelo foi alimentado com uma matriz de demanda de tráfego desenvolvida a partir de contagens de veículos realizadas em campo, segmentadas por tipo de veículo e por sentido de deslocamento para o período de pico matutino (07:00h às 08:00h). A análise comparativa entre os cenários foi fundamentada em indicadores de desempenho (KPIs) extraídos dos arquivos de saída da simulação, como tripinfo.xml. Os principais indicadores avaliados foram: tempo médio de viagem, tempo de espera (atraso por congestionamento ou frenagens nos radares), e a velocidade média dos veículos.

Essa abordagem metodológica permitiu uma análise objetiva e baseada em dados, fornecendo subsídios quantitativos para a discussão sobre a viabilidade e os benefícios da intervenção proposta na mobilidade regional e no seu consequente impacto ambiental.

2.5.2 Funcionalidades do SUMO para análise de impactos no tráfego

O SUMO oferece várias funcionalidades essenciais para a análise do tráfego e dos impactos da duplicação da Ponte Governador José Wilson Siqueira Campos, incluindo:

- Simulação de fluxos de tráfego: O SUMO modela o comportamento de veículos em tempo real, analisando o fluxo de tráfego e identificando potenciais gargalos e congestionamentos em diferentes cenários.
- Análise da capacidade viária: A plataforma permite avaliar a capacidade das vias e identificar pontos críticos onde o tráfego pode se acumular, possibilitando ajustes no planejamento da duplicação.
- Testes de cenários alternativos: O SUMO oferece a flexibilidade de testar diferentes soluções, como o aumento do número de faixas, alterações nas sinalizações e o uso de faixas exclusivas para pedestres e ciclistas.

3 METODOLOGIA

Este estudo de caso adota uma abordagem mista, combinando métodos qualitativos e quantitativos, para analisar os impactos da duplicação da Ponte Governador José Wilson Siqueira Campos no tráfego e na mobilidade regional. A metodologia busca assegurar que todas as etapas, desde a coleta de dados até a análise dos resultados, sejam realizadas de forma rigorosa e sistemática.

A motivação desse estudo se baseia na necessidade de compreender os desafios enfrentados na mobilidade regional e as possíveis soluções para aprimorar o tráfego em uma infraestrutura estratégica para a região de Palmas-TO e Luzimangues. A proposta inicial concentrou-se em investigar o impacto de uma duplicação na capacidade da Ponte Governador José Wilson Siqueira Campos, buscando justificar tecnicamente a viabilidade dessa intervenção. As primeiras etapas envolveram a identificação do problema e a formulação de objetivos claros para guiar a pesquisa.

Figura 6 - Fluxograma do trabalho

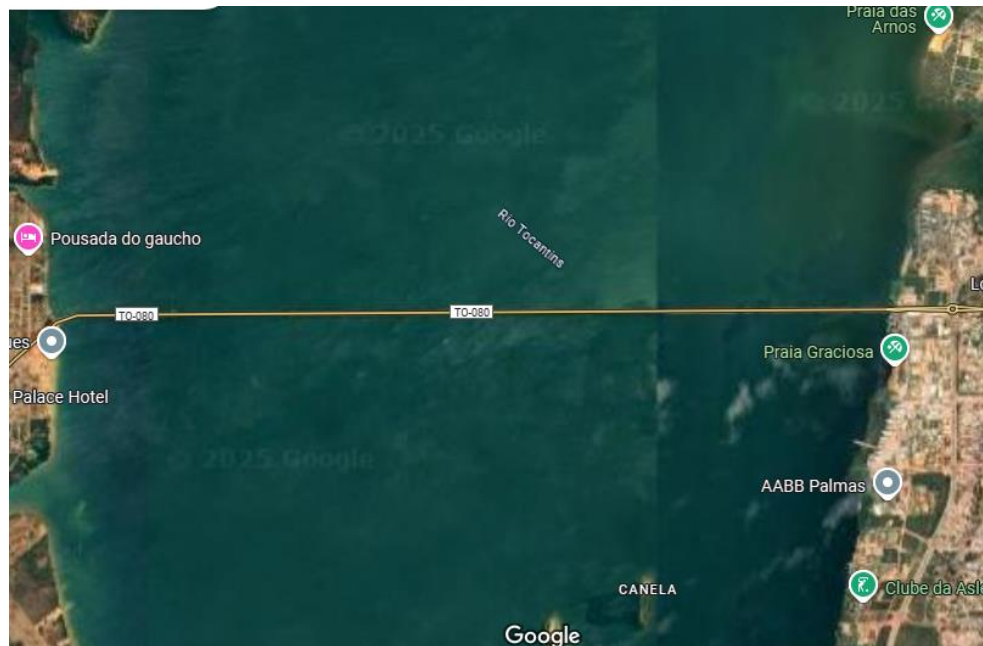
Fonte: Autor (2025)

3.1 Objeto de estudo

O objeto central desta pesquisa é a Ponte Governador José Wilson Siqueira Campos, localizada na TO-080 (Figura 7), ligando Palmas ao distrito de Luzimangues, no município de Porto Nacional, no Tocantins. Inaugurada em 2002, a ponte foi projetada para atender ao fluxo crescente de veículos e pedestres, considerando a possibilidade de alargamento futuro devido ao aumento da demanda. Atualmente, ela enfrenta diversos problemas de tráfego denso em horários de pico e eventuais paralisações provocadas por acidentes ou obras.

A ponte possui dimensões que incluem uma extensão total de 8,10 km incluindo a ponte principal com 1.042 metros, duas pontes menores chamadas de vazantes e trechos de aterro, abrangendo vias para tráfego de veículos e passagens para pedestres. Essa infraestrutura é fundamental para a mobilidade entre Palmas e o entorno, sendo também um elo crucial para o transporte de cargas e mercadorias na região.

Figura 7 - Localização Ponte Governador José Wilson Siqueira Campos



Fonte: Qgis -Adaptado pelo Autor (2025)

3.2 Procedimentos metodológicos

3.2.1 Coleta de dados

Para garantir que a demanda veicular utilizada na microssimulação representasse fielmente as condições reais, foi realizado um levantamento de dados de tráfego primários. A coleta foi efetuada por meio de uma contagem volumétrica manual e classificada, realizada diretamente na Ponte Governador José Wilson Siqueira Campos.

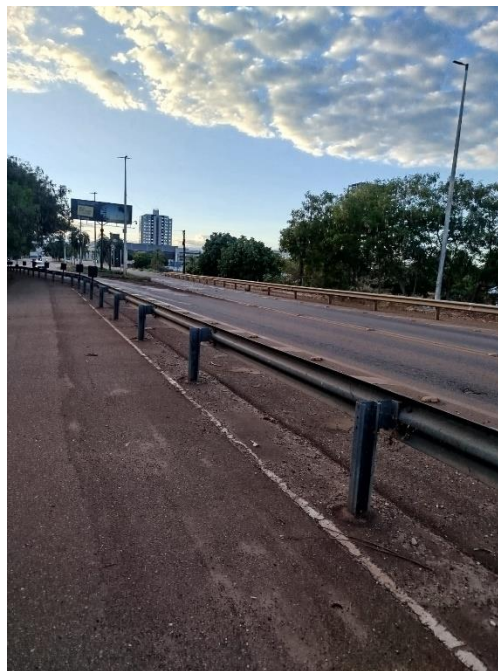
O procedimento concentrou-se no período de pico matutino de uma Terça-Feira, das 07:00h às 08:00h, durante o qual foram registrados, em intervalos de 15 minutos, o volume e o tipo de cada veículo que cruzava a estrutura em ambos os sentidos (Palmas ↔ Luzimangues). Os veículos foram categorizados em: automóveis de passeio, motocicletas, caminhões, ônibus e veículos comerciais leves. Esses dados primários foram fundamentais para a construção da matriz de demanda da simulação, permitindo a criação de fluxos de tráfego (<flow>) realistas no arquivo de rotas, que serviram como entrada para os dois cenários avaliados.

Figura 8 - Posicionamento estratégico para contagem manual de veículos (Sentido: Luzimangues-Palmas)



Fonte: Autor (2025)

Figura 9 - Posicionamento estratégico para contagem manual de veículos (Sentido: Palmas-Luzimangues)



Fonte: Autor (2025)

3.2.2 Definição dos Cenários e Indicadores de Desempenho

A partir dos dados de tráfego levantados, foi desenvolvido e calibrado o "Cenário 1: Ponte Atual". Este cenário representa a operação da infraestrutura existente sob a demanda de tráfego observada em campo, servindo como linha de base (baseline) para a análise comparativa.

Para avaliar o impacto da intervenção proposta, foi modelado o "Cenário 2: Ponte Duplicada". Neste cenário, a capacidade da ponte foi duplicada no modelo computacional através da adição de faixas de rolamento, mantendo-se inalteradas todas as outras variáveis, como a matriz de demanda, a fim de isolar o efeito da expansão da infraestrutura.

A comparação da eficácia entre os dois cenários foi realizada de forma quantitativa, através da análise dos seguintes Indicadores de Desempenho (KPIs), extraídos dos arquivos de saída gerados pelo SUMO:

- Tempo Médio de Viagem (s): Indicador da eficiência geral do deslocamento dos usuários.
- Tempo Médio de Espera (s): Métrica direta do tempo perdido em congestionamentos, representando os atrasos na via.
- Velocidade Média (km/h): Indicador da fluidez do sistema viário.

A análise comparativa destes indicadores permite uma avaliação objetiva dos benefícios gerados pela duplicação da ponte no que tange à mobilidade e à sustentabilidade ambiental.

3.3 Microsimulação

3.3.1 Ferramenta Computacional

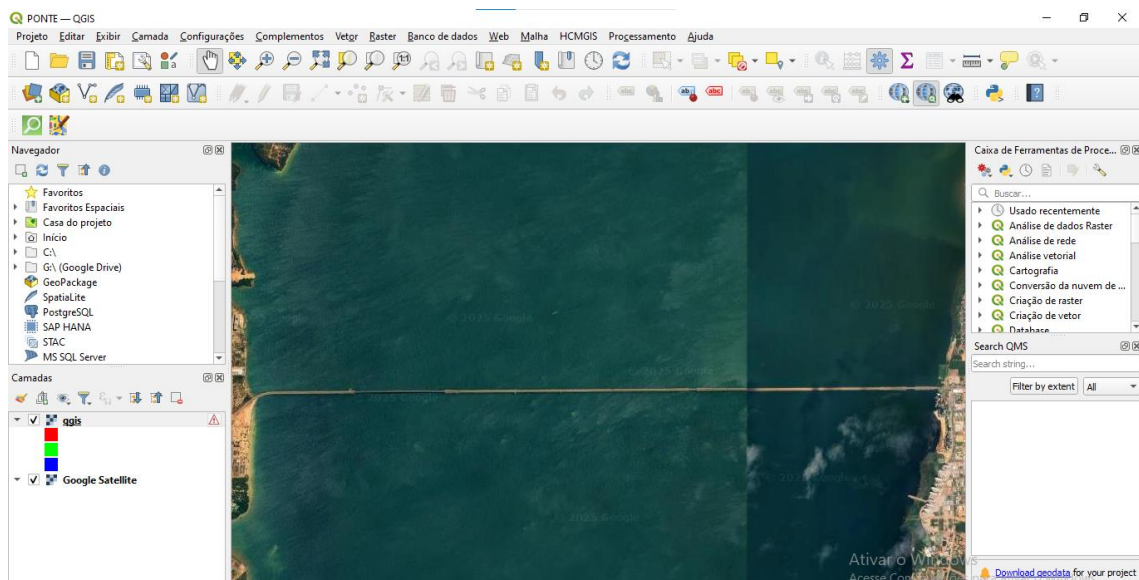
A ferramenta selecionada para a modelagem foi o software de código aberto SUMO, em sua versão 1.23.1. O SUMO é um simulador de tráfego microscópico e multimodal, que permite a análise detalhada do comportamento individual de cada agente (veículo) na rede. Para a execução deste trabalho, foram utilizados componentes chave do pacote SUMO, incluindo o editor de redes netedit para a construção da malha viária e o sumo-gui para a execução e visualização das simulações.

3.3.2 Construção do Modelo de Rede (.net.xml)

A criação de uma representação digital fiel da infraestrutura foi a primeira etapa da modelagem. O processo iniciou-se com a obtenção de uma imagem de satélite de alta resolução e georreferenciada da área de estudo.

Utilizando o software de Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto QGIS (versão 3.40.7), a imagem serviu como camada base para a vetorização precisa das vias. Nesse ambiente, foram desenhadas as linhas centrais das pistas de rolamento, ciclovias e os principais acessos à Ponte Governador José Wilson Siqueira Campos.

Figura 10 - Obtenção de imagem georreferenciada no QGIS

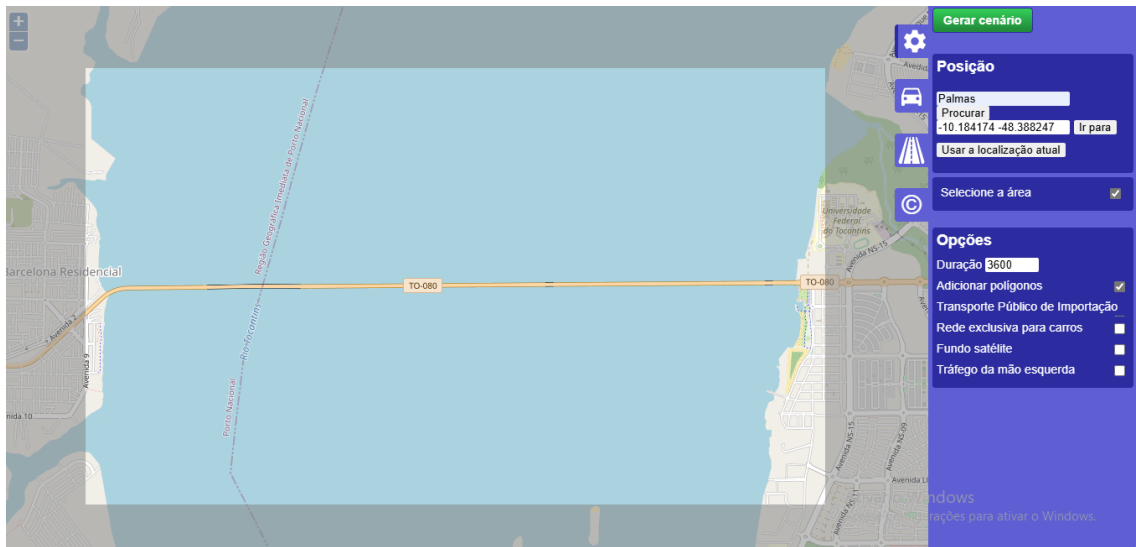


Fonte: Autor (2025)

Posteriormente, essa rede vetorial foi exportada e importada para o netedit, o editor de redes do pacote SUMO. No netedit, a geometria foi convertida para o formato de edges (vias) e junctions (nós), sendo submetida a um processo de refinamento para garantir a correta conectividade, a definição de atributos como limites de velocidade e número de faixas, e a calibração de permissões de acesso para cada classe de veículo, gerando o arquivo final PONTE.net.xml.

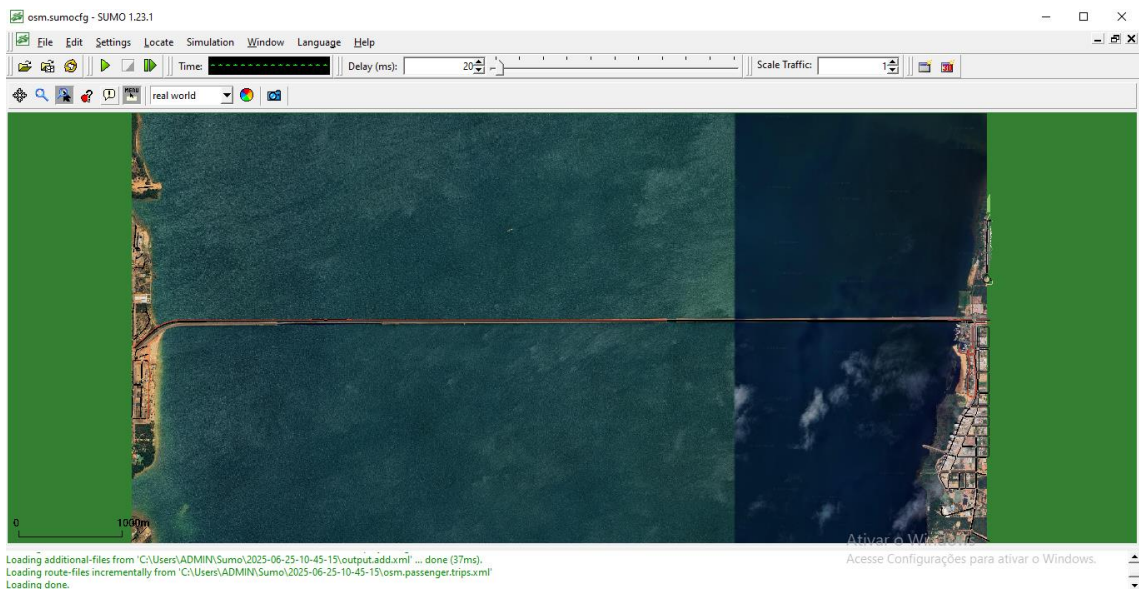
1. Importação da Malha Base: A base da rede foi obtida a partir de dados georreferenciados da plataforma OpenStreetMap (OSM), importada para o ambiente SUMO para gerar uma versão inicial do arquivo PONTE.net.xml.

Figura 11 - Seleção da ponte no OSM para gerar a versão inicial da modelagem



Fonte: Autor (2025)

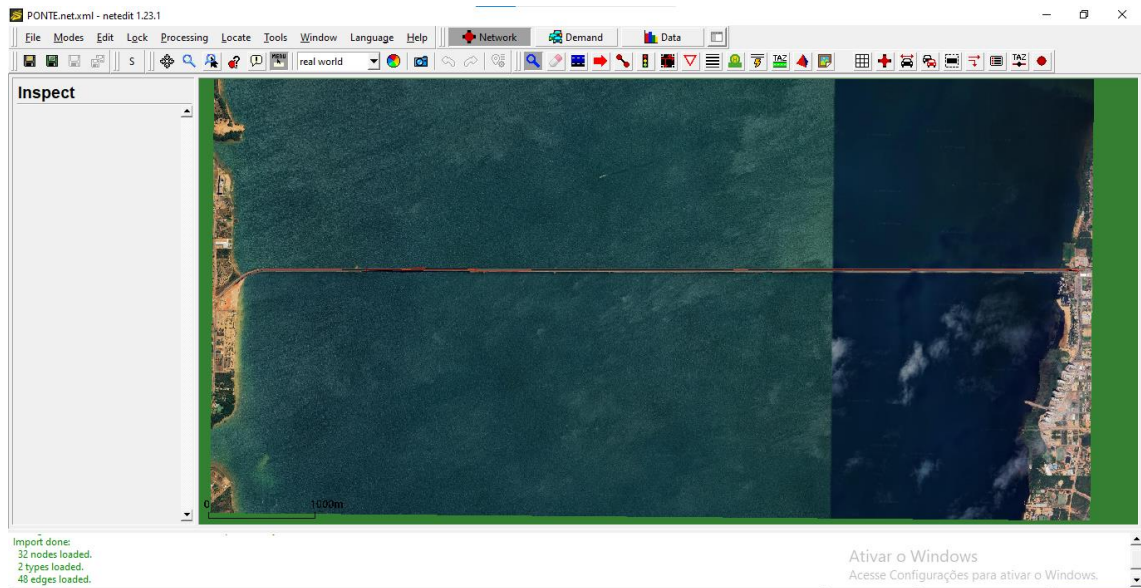
Figura 12 - Vias da ponte extraídas automaticamente para o Sumo com a imagem georreferenciada



Fonte: Autor (2025)

2. Refinamento Geométrico e de Conectividade: A rede importada foi submetida a um intenso processo de edição manual no netedit para corrigir e refinar a geometria das vias (edges), faixas (lanes) e junções (junctions), garantindo a correta conectividade entre os segmentos da ponte e seus acessos em Palmas e Luzimangues.

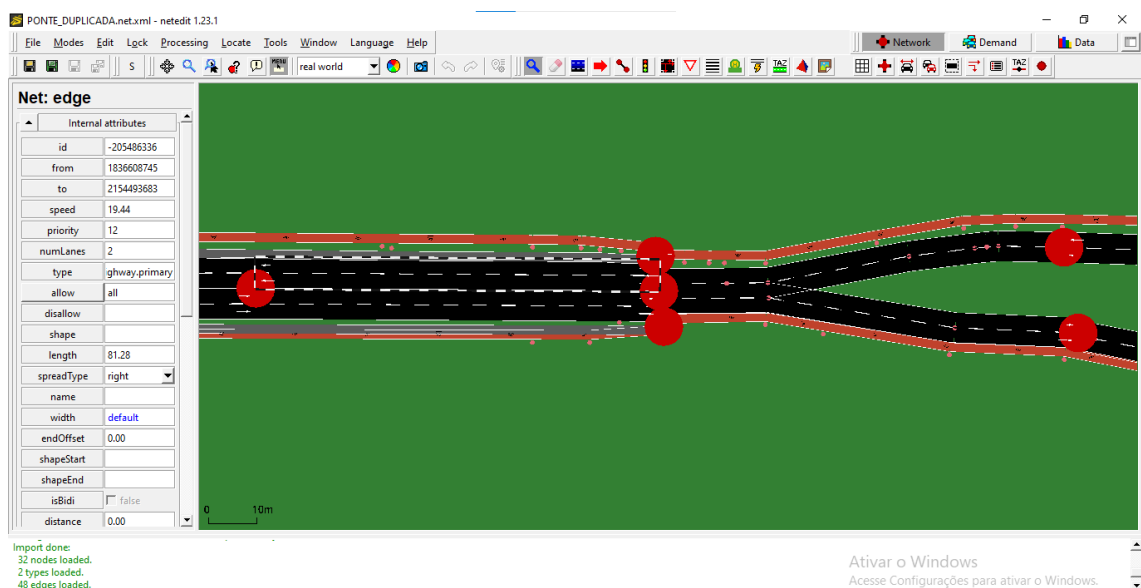
Figura 13 - Refinamento Geométrico e de Conectividade no Nedit



Fonte: Autor (2025)

3. Criação do Cenário Proposto: O "Cenário da Ponte Duplicada" foi criado a partir da rede base calibrada. A duplicação foi modelada alterando-se o atributo numLanes das vias principais da ponte de 1 para 2 em cada sentido, dobrando efetivamente a capacidade da travessia. O arquivo resultante foi salvo como PONTE_DUPLICADA.net.xml.

Figura 14 - Duplicação das vias no Nedit



Fonte: Autor (2025)

3.3.3 Modelagem da Demanda de Tráfego (.rou.xml)

Com a infraestrutura virtual definida, o passo seguinte foi modelar os veículos que a utilizariam.

1. Coleta de Dados Primários: A demanda de tráfego foi baseada em dados primários, obtidos por meio de uma contagem volumétrica manual e classificada, realizada no período de pico matutino (07:00h às 08:00h). Os veículos foram categorizados em: automóveis de passeio, motocicletas, caminhões, ônibus e veículos comerciais leves. O registro da contagem foi realizado pelo aplicativo Click Counter. Foi considerado um intervalo de 15 minutos para cada fluxo de veículo como é demonstrado no Quadro 1.

Quadro 1 - Contagem manual de tráfego realizada em campo

CONTAGEM MANUAL DE TRÁFEGO REALIZADA EM CAMPO						
<i>Local: Ponte Governador José Wilson Siqueira Campos</i>						
CONTAGEM ACUMULADA DE VEÍCULOS COM INTERVALOS DE 15 MINUTOS						
TIPOS DE VEICULOS	SENTIDO	HORÁRIO				
		07:00	07:15	07:30	07:45	08:00
CARROS DE PASSEIO	Palmas → Luzimangues	0	76	96	124	160
CARROS DE PASSEIO	Luzimangues → Palmas	0	87	107	228	270
MOTOS	Palmas → Luzimangues	0	21	60	84	106
MOTOS	Luzimangues → Palmas	0	111	247	438	597
CAMINHÕES	Palmas → Luzimangues	0	8	22	34	44
CAMINHÕES	Luzimangues → Palmas	0	11	18	27	34
ÔNIBUS	Palmas → Luzimangues	0	2	4	6	7
ÔNIBUS	Luzimangues → Palmas	0	4	8	11	13
VEÍCULOS COMERCIAIS LEVES	Palmas → Luzimangues	0	1	4	6	7
VEÍCULOS COMERCIAIS LEVES	Luzimangues → Palmas	0	0	3	7	8

Fonte: Autor (2025)

2. Definição dos Tipos de Veículo (vType): No arquivo de rotas, cada categoria de veículo foi definida como um vType, com atributos específicos de aceleração, comprimento, velocidade máxima e vClass. O código-fonte completo deste script está disponível no Apêndice A deste trabalho.

Figura 15 - Definição dos tipos de Veículos (vType)

```

1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <routes xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.dlr.de/xsd/routes_file.xsd">
3
4   <vType id="carro" vClass="passenger" emissionClass="HBEFA3/PC_G_EU4" accel="2.6" decel="4.5" sigma="0.5" length="4.5" maxSpeed="27.78" guiShape="passenger"
5   <vType id="moto" vClass="motorcycle" emissionClass="HBEFA3/PC_G_EU4" accel="3.0" decel="5.0" sigma="0.4" length="2.0" maxSpeed="30.56" guiShape="motorcycle"
6   <vType id="caminhao" vClass="truck" emissionClass="HBEFA3/HDV_D_EU4" accel="1.5" decel="3.0" sigma="0.8" length="10.0" maxSpeed="25.00" guiShape="truck" minGap="1.0"
7   <vType id="onibus" vClass="bus" emissionClass="HBEFA3/HDV_D_EU4" accel="1.8" decel="3.5" sigma="0.6" length="12.0" maxSpeed="22.22" guiShape="bus" minGap="1.0"
8   <vType id="comercial_leve" vClass="delivery" emissionClass="HBEFA3/PC_G_EU4" accel="2.0" decel="4.0" sigma="0.5" length="5.5" maxSpeed="27.78" guiShape="delivery"
9

```

Fonte: Autor (2025)

3. Criação dos Fluxos de Tráfego (<flow>): Para evitar problemas de congestionamento na entrada da rede ("spawning gridlock"), optou-se por modelar a demanda usando a tag <flow> com o atributo vehsPerHour. Este método insere veículos de forma estocástica ao longo de cada intervalo de 15 minutos, representando um fluxo de chegada mais natural do que um número fixo. Os fluxos foram cuidadosamente ordenados por seu tempo de início (begin) para garantir a correta interpretação pelo simulador. O código-fonte completo deste script está disponível no Apêndice B deste trabalho.

Figura 16 - Criação dos Fluxos de Tráfego (<flow>)

```

9
10 <route id="rota_palmas_luzimangues_principal" edges="180987222#2 180987222#2.22 -205486336 -1308838300 -1308838300.1220 -1308838300.1306 -1308838300.1382 -
11 <route id="rota_luzimangues_palmas_principal" edges="49837928 49837928.1261 205486335.2749 205486335 205486335 205486335.1058 205486335.1145 1308838302 13
12
13 <flow id="carro_p_1_1" type="carro" route="rota_palmas_luzimangues_principal" begin="0" end="900" vehsPerHour="304" departLane="free" departPos="random free"
14 <flow id="moto_p_1_1" type="moto" route="rota_palmas_luzimangues_principal" begin="0" end="900" vehsPerHour="84" departLane="free" departPos="random free"
15 <flow id="caminhao_p_1_1" type="caminhao" route="rota_palmas_luzimangues_principal" begin="0" end="900" vehsPerHour="32" departLane="free" departPos="random free"
16 <flow id="onibus_p_1_1" type="onibus" route="rota_palmas_luzimangues_principal" begin="0" end="900" vehsPerHour="8" departLane="free" departPos="random free"
17 <flow id="comercial_leve_p_1_1" type="comercial_leve" route="rota_palmas_luzimangues_principal" begin="0" end="900" vehsPerHour="4" departLane="free" departPos="random free"
18
19 <flow id="carro_l_1_1" type="carro" route="rota_luzimangues_palmas_principal" begin="0" end="900" vehsPerHour="348" departLane="free" departPos="random free"
20 <flow id="moto_l_1_1" type="moto" route="rota_luzimangues_palmas_principal" begin="0" end="900" vehsPerHour="84" departLane="free" departPos="random free"
21 <flow id="caminhao_l_1_1" type="caminhao" route="rota_luzimangues_palmas_principal" begin="0" end="900" vehsPerHour="44" departLane="free" departPos="random free"
22 <flow id="onibus_l_1_1" type="onibus" route="rota_luzimangues_palmas_principal" begin="0" end="900" vehsPerHour="16" departLane="free" departPos="random free"
23
24 <flow id="carro_p_1_2" type="carro" route="rota_palmas_luzimangues_principal" begin="900" end="1800" vehsPerHour="80" departLane="free" departPos="random free"
25 <flow id="moto_p_1_2" type="moto" route="rota_palmas_luzimangues_principal" begin="900" end="1800" vehsPerHour="156" departLane="free" departPos="random free"
26 <flow id="caminhao_p_1_2" type="caminhao" route="rota_palmas_luzimangues_principal" begin="900" end="1800" vehsPerHour="56" departLane="free" departPos="random free"
27 <flow id="onibus_p_1_2" type="onibus" route="rota_palmas_luzimangues_principal" begin="900" end="1800" vehsPerHour="8" departLane="free" departPos="random free"
28 <flow id="comercial_leve_p_1_2" type="comercial_leve" route="rota_palmas_luzimangues_principal" begin="900" end="1800" vehsPerHour="12" departLane="free" departPos="random free"
29
30 <flow id="carro_l_1_2" type="carro" route="rota_luzimangues_palmas_principal" begin="900" end="1800" vehsPerHour="80" departLane="free" departPos="random free"
31 <flow id="moto_l_1_2" type="moto" route="rota_luzimangues_palmas_principal" begin="900" end="1800" vehsPerHour="544" departLane="free" departPos="random free"
32 <flow id="caminhao_l_1_2" type="caminhao" route="rota_luzimangues_palmas_principal" begin="900" end="1800" vehsPerHour="28" departLane="free" departPos="random free"
33 <flow id="onibus_l_1_2" type="onibus" route="rota_luzimangues_palmas_principal" begin="900" end="1800" vehsPerHour="16" departLane="free" departPos="random free"
34 <flow id="comercial_leve_l_1_2" type="comercial_leve" route="rota_luzimangues_palmas_principal" begin="900" end="1800" vehsPerHour="12" departLane="free" departPos="random free"
35
36 <flow id="carro_p_1_3" type="carro" route="rota_palmas_luzimangues_principal" begin="1800" end="2700" vehsPerHour="112" departLane="free" departPos="random free"
37 <flow id="moto_p_1_3" type="moto" route="rota_palmas_luzimangues_principal" begin="1800" end="2700" vehsPerHour="96" departLane="free" departPos="random free"
38 <flow id="caminhao_p_1_3" type="caminhao" route="rota_palmas_luzimangues_principal" begin="1800" end="2700" vehsPerHour="48" departLane="free" departPos="random free"
39 <flow id="onibus_p_1_3" type="onibus" route="rota_palmas_luzimangues_principal" begin="1800" end="2700" vehsPerHour="8" departLane="free" departPos="random free"
40 <flow id="comercial_leve_p_1_3" type="comercial_leve" route="rota_palmas_luzimangues_principal" begin="1800" end="2700" vehsPerHour="6" departLane="free" departPos="random free"
41
42 <flow id="carro_l_1_3" type="carro" route="rota_luzimangues_palmas_principal" begin="1800" end="2700" vehsPerHour="484" departLane="free" departPos="random free"
43 <flow id="moto_l_1_3" type="moto" route="rota_luzimangues_palmas_principal" begin="1800" end="2700" vehsPerHour="764" departLane="free" departPos="random free"
44

```

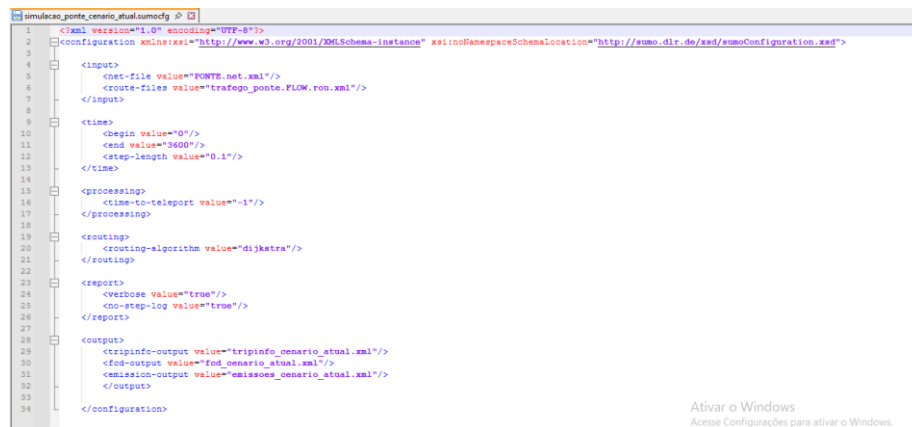
Fonte: Autor (2025)

3.3.4 Configuração e Execução da Simulação (.sumocfg)

A execução de cada cenário foi controlada por um arquivo de configuração (.sumocfg), que integra os diferentes componentes do modelo.

1. Estrutura da Configuração: O arquivo define os arquivos de entrada (<input>), como o .net.xml do cenário correspondente e o arquivo de fluxo.rou.xml.
2. Parâmetros de Simulação: O tempo total de simulação foi definido para 3600 segundos. Para aumentar a robustez e prevenir o descarte de veículos em situações de alto conflito na entrada, foi ativada a opção <time-to-teleport value="-1"/>.
3. Definição de Saídas: Foram configurados os arquivos de saída para coletar os dados necessários para a análise, sendo arquivos tripinfo.xml para ambos os cenários a fins de registrar as métricas de desempenho de cada veículo (duração, tempo de espera, velocidade). O código-fonte completo deste script está disponível no Apêndice C deste trabalho.

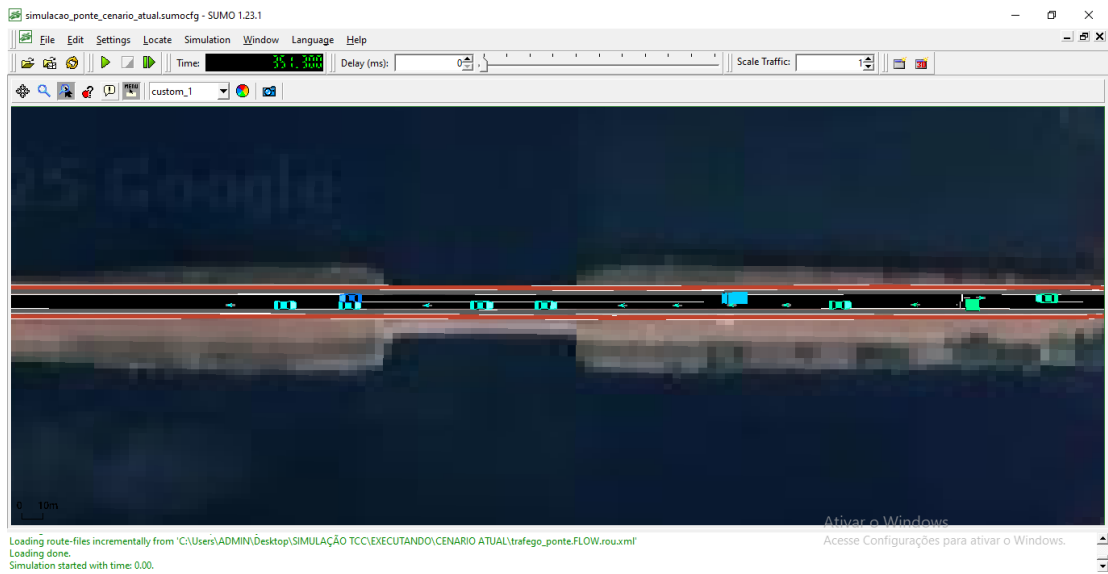
Figura 17 - Estrutura da configuração para o cenário atual como exemplo



Fonte: Autor (2025)

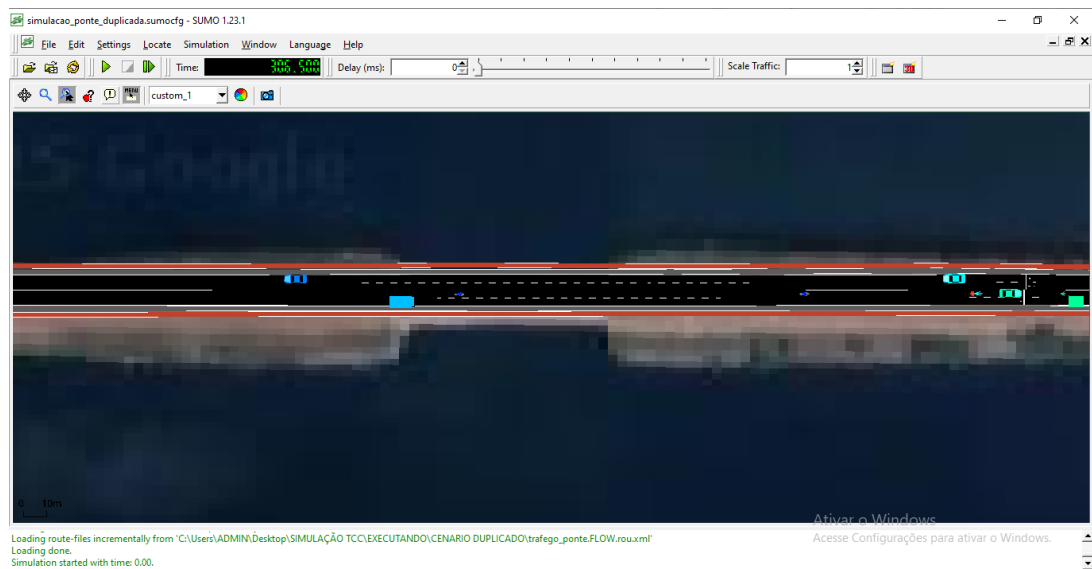
4. Execução: Ambos os cenários foram executados através da interface de linha de comando, utilizando o sumo-gui para visualização e verificação do comportamento do tráfego.

Figura 18 - Execução da simulação do cenário atual



Fonte: Autor (2025)

Figura 19 - Execução da simulação do cenário da ponte duplicada



Fonte: Autor (2025)

Esta metodologia estruturada garantiu a criação de dois cenários comparáveis e a extração de dados quantitativos para uma análise de impacto objetiva.

3.4 Ferramentas utilizadas

Para a consecução deste trabalho, um conjunto de ferramentas computacionais, majoritariamente de código aberto, foi empregado em diferentes etapas do projeto, desde o geoprocessamento inicial até a análise final dos dados.

- Click Counter: Aplicativo para Android e IOS que permite criar categorias e quantidades de contagem. Utilizado na fase de extração de dados do fluxo atual em horário de pico (07:00 às 08:00) através de contagem manual dos veículos.
- QGIS: Software de Sistema de Informação Geográfica (SIG) utilizado na fase de pré-processamento. A ferramenta foi empregada para georreferenciar e vetorizar a malha viária da área de estudo a partir de imagens de satélite, servindo como base para a criação da rede no SUMO.
- OpenStreetMap (OSM): Plataforma colaborativa e de dados geográficos abertos que serviu como fonte primária dos dados vetoriais da malha viária. A área de interesse, contendo a Ponte Governador José Wilson Siqueira Campos e seus acessos, foi extraída da base de dados do OSM para servir como o modelo geométrico inicial para a criação da rede de simulação.
- SUMO v1.22.0: Pacote de microssimulação de tráfego que serviu como núcleo da metodologia. Os seguintes componentes foram utilizados:
 - Netedit: Editor gráfico de redes, empregado para a construção, refinamento geométrico e calibração de atributos da rede viária (.net.xml), como permissões de faixa e limites de velocidade.
 - Sumo-gui: Interface gráfica do simulador, utilizada para a execução visual, depuração do comportamento do tráfego e validação qualitativa dos cenários.
- Linguagem de Programação Python: Utilizada na fase de pós-processamento para a análise automatizada dos dados brutos gerados pela simulação. As seguintes bibliotecas foram essenciais:
- Pandas: Para a leitura, manipulação e agregação dos dados de saída (tripinfo.xml) em estruturas de dados tabulares.
- Matplotlib: Para a criação dos gráficos comparativos de desempenho e impacto ambiental, permitindo a visualização clara dos resultados.

- Editores de Texto e Planilhas: Ferramentas como o Notepad++ foram utilizadas para a inspeção e edição manual dos arquivos de configuração em formato XML, enquanto softwares de planilha (ex: Microsoft Excel) foram usados para a visualização dos dados exportados em formato .csv.

4 ANÁLISES E RESULTADOS

4.1 Considerações sobre a metodologia

A metodologia empregada neste estudo foi estruturada para fornecer uma análise quantitativa e objetiva do impacto da duplicação da Ponte Governador José Wilson Siqueira Campos. A abordagem integrou o levantamento de dados de tráfego primários, a construção de um modelo de rede computacional calibrado no software SUMO e a simulação comparativa de cenários distintos (Cenário Base vs. Cenário Proposto).

A aplicação desta metodologia resultou na geração de um conjunto de dados robusto, contendo indicadores de desempenho de tráfego e de impacto ambiental para cada um dos cenários. Esta base de dados, por sua vez, serve como alicerce para a análise e discussão apresentadas no capítulo subsequente. A combinação de dados de campo com as capacidades da microsimulação garantiu o embasamento técnico necessário para responder aos objetivos propostos por este trabalho.

4.2 Análise de Desempenho do Tráfego

A avaliação do desempenho do tráfego foi focada em indicadores chave de fluidez e eficiência do sistema viário. Os dados foram extraídos dos arquivos tripinfo.xml gerados em cada simulação.

4.2.1 Análise Quantitativa por Tipo de Veículo

O Quadro 2 detalha os resultados consolidados, segmentados por cada classe de veículo presente na simulação, permitindo uma visão granular do impacto da duplicação da ponte.

Quadro 2 - Comparativo de Desempenho por Tipo de Veículo

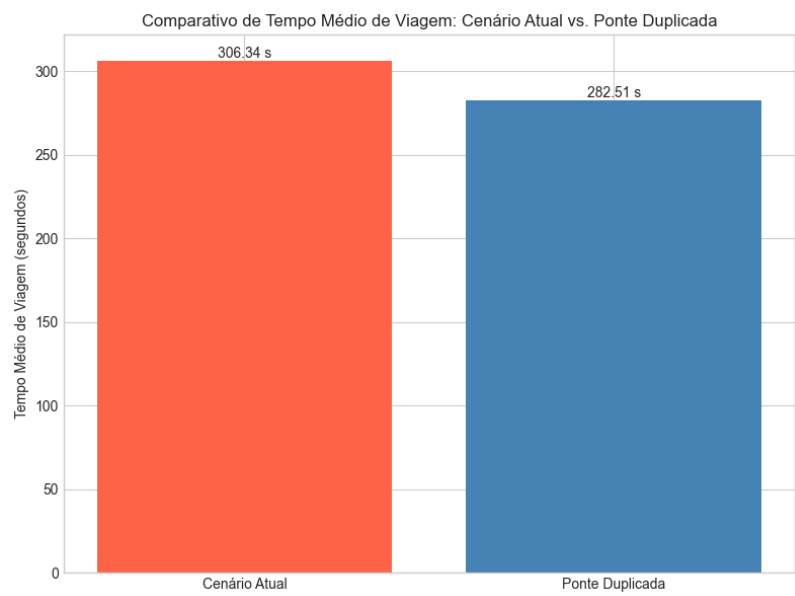
Tipo de Veículo	Métrica	Cenário Atual	Ponte Duplicada	Variação (%)
Moto	Tempo de Espera (s)	39.03 s	7.66 s	-80.37%
	Velocidade Média (km/h)	90.06 km/h	100.32 km/h	+11.39%
Veículo comercial leve	Tempo de Espera (s)	37.53 s	7.44 s	-80.17%
	Velocidade Média (km/h)	85.57 km/h	93.55 km/h	+9.33%
Carro	Tempo de Espera (s)	20.04 s	5.81 s	-71.01%
	Velocidade Média (km/h)	89.69 km/h	93.89 km/h	+4.68%
Caminhão	Tempo de Espera (s)	6.97 s	5.27 s	-24.39%
	Velocidade Média (km/h)	85.92 km/h	86.33 km/h	+0.47%
Ônibus	Tempo de Espera (s)	2.68 s	2.71 s	+1.10%
	Velocidade Média (km/h)	78.35 km/h	78.30 km/h	-0.06%

Fonte: Autor (2025)

4.2.2 Análise Gráfica do Desempenho

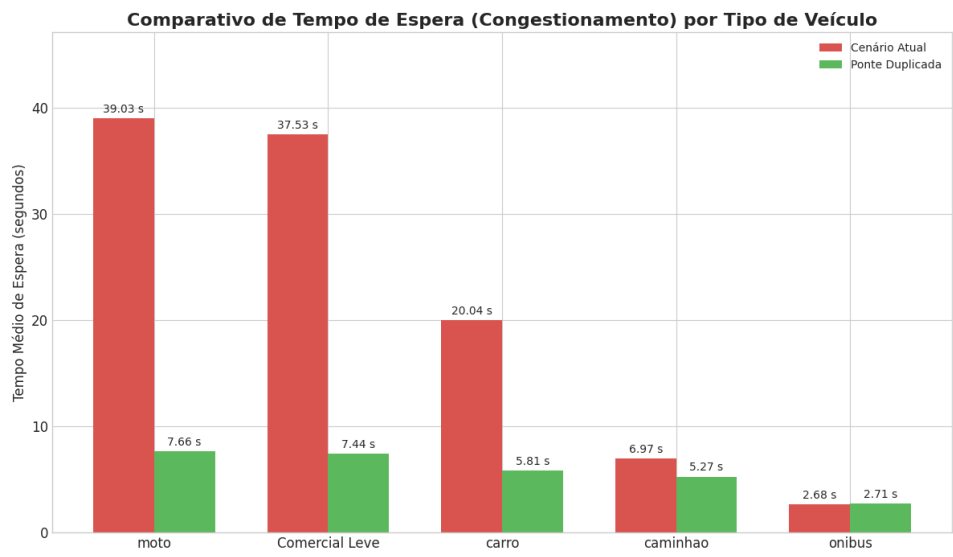
Para ilustrar os resultados mais significativos, a Figura 20 exibe a comparação entre os dois cenários em relação ao tempo médio de viagem e a Figura 21 apresenta o comparativo do tempo médio de espera, que é o principal indicador de congestionamento.

Figura 20 - Comparativo de tempo médio de viagem



Fonte: Autor (2025)

Figura 21 - Comparativo de tempo de espera



Fonte: Autor (2025)

4.2.3 Discussão dos Resultados de Tráfego

Os resultados demonstram que a duplicação da ponte promove uma melhoria expressiva na fluidez do tráfego, porém com impactos de magnitude distinta para cada classe de veículo. Os veículos mais leves e ágeis ou com funções de rapidez ao destino final, como motos e veículos comerciais leves, foram os mais beneficiados, com uma redução drástica no

tempo de congestionamento superior a 80%. Este resultado evidencia que esses usuários são os mais sensíveis ao tráfego intermitente e, portanto, os que mais se aproveitam da maior fluidez.

Os carros, que compõem o maior volume de tráfego, também obtiveram uma melhora substancial, com o tempo de espera reduzido em mais de 70%, validando a eficácia da proposta para a maioria dos usuários. Em contraste, os caminhões e ônibus apresentaram um comportamento distinto. A melhoria para os caminhões foi mais contida, enquanto o desempenho dos ônibus permaneceu praticamente inalterado, sugerindo que seu tempo de viagem é ditado primariamente por suas próprias características operacionais (menor aceleração, peso) do que pelo congestionamento geral que afetava os demais veículos.

4.3 Análise de Impacto Ambiental

A avaliação do impacto ambiental da duplicação da ponte foi realizada de forma qualitativa, através da correlação direta entre os indicadores de desempenho do tráfego e a emissão de poluentes veiculares. Nos conceitos técnicos conhecidos, se estabelece que o regime de tráfego congestionado, caracterizado por ciclos de aceleração e frenagem e por longos períodos em marcha lenta, eleva drasticamente o consumo de combustível e, conseqüentemente, a emissão de gases de efeito estufa (CO₂) e outros poluentes locais (CO, NO_x).

Conforme demonstrado na análise de desempenho (Seção 4.2), a implementação do Cenário da Ponte Duplicada promoveu uma redução drástica de 77,2% no tempo médio de espera (TimeLoss) dos veículos. Esta diminuição do tempo em que os veículos permanecem em estado de congestionamento permite inferir, com alto grau de confiança, uma redução proporcional e significativa na emissão total de poluentes.

Portanto, conclui-se que a intervenção na infraestrutura, ao melhorar a eficiência operacional e a fluidez do tráfego, gera um benefício ambiental direto e relevante, contribuindo para a melhoria da qualidade do ar e para a sustentabilidade da mobilidade na região de estudo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente Trabalho de Conclusão de Curso teve como objetivo central avaliar, por meio de microsimulação de tráfego, os impactos na mobilidade e no meio ambiente decorrentes de uma proposta de duplicação da Ponte Governador José Wilson Siqueira Campos, um eixo viário de vital importância para a região metropolitana de Palmas.

Para tal, foi desenvolvida uma metodologia que integrou a coleta de dados de tráfego primários, a construção de um modelo computacional da rede no software SUMO e a análise comparativa entre o cenário da infraestrutura atual e o cenário com a capacidade duplicada.

A análise dos resultados quantitativos demonstrou que a intervenção proposta é altamente eficaz na mitigação dos problemas de congestionamento. Os indicadores de desempenho revelaram uma melhoria drástica na fluidez do sistema, com destaque para a redução de 77,2% no tempo médio de espera dos veículos, um aumento de 8,2% na velocidade média geral e uma consequente diminuição de 7,8% no tempo total de viagem. Tais melhorias, ao reduzirem o regime de "para e anda", permitem inferir um impacto ambiental positivo, com a provável redução na emissão de gases poluentes.

Diante do exposto, conclui-se que a duplicação da ponte responde de forma eficaz aos objetivos propostos, validando-se como uma intervenção estratégica e de grande impacto para a melhoria da mobilidade regional. O estudo fornece subsídios técnicos que justificam o investimento, demonstrando que a expansão da capacidade da via não apenas acomoda a demanda atual, mas o faz com um nível de serviço significativamente superior.

É importante ressaltar as limitações inerentes a este estudo para contextualizar os resultados. O modelo de demanda foi construído com base em uma contagem de tráfego realizada em um único dia, durante o período de pico matutino. Portanto, não abrange as variações de fluxo de outros horários, dias da semana ou períodos sazonais. Adicionalmente, a análise de emissões foi baseada em classes genéricas do modelo HBEFA, servindo como uma estimativa e não uma medição exata.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, R. et al. **Microscopic Traffic Simulation Using SUMO**. Proceedings of the 3rd International Conference on Traffic and Transport Engineering. 2016.
- FERREIRA, L. S.; OLIVEIRA, M. A. **Impactos de Obras Rodoviárias no Tráfego Urbano: Estudo de Caso**. Revista de Engenharia e Mobilidade, São Paulo, v. 12, n. 2, p. 45-56, 2021.
- RIBEIRO, T. C.; SANTOS, A. R. **Análise de Fluxos Veiculares em Obras de Infraestrutura**. Revista de Transporte e Trânsito, Belo Horizonte, v. 8, n. 3, p. 33-49, 2019.
- SILVA, J. R. **Infraestrutura Viária e Fluxos de Tráfego**. Revista Brasileira de Mobilidade Urbana, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 12-23, 2020.
- OLIVEIRA, M. A. **Impactos Econômicos das Intervenções Rodoviárias**. Cadernos de Mobilidade, Brasília, v. 15, n. 2, p. 55-67, 2018.
- SOUZA, L. F. **Planejamento Urbano e Redução de Congestionamentos**. Estudos em Infraestrutura, Belo Horizonte, v. 8, n. 3, p. 20-35, 2021.
- COSTA, P. R. **Tecnologias Computacionais no Planejamento Urbano**. Revista de Engenharia Civil, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 30-45, 2020.
- MARTINS, T. C.; ALMEIDA, F. S. **Análise de Impactos Ambientais em Obras de Grande Porte**. Revista de Meio Ambiente, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 18-28, 2022.
- LUDUVICO, R. de L. **Análise das Condições da Trafegabilidade Veicular e de Pedestres na Ponte do Paraíso (Santa Cruz, RN)**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2020.
- VASCONCELLOS, Eduardo A. **Transporte Urbano e Meio Ambiente: Planejamento e Gestão de Sistemas de Transporte**. São Paulo: Annablume, 2019.
- CARDOSO, P. R.; SILVA, J. R. **Análise de Impactos no Tráfego em Estruturas Viárias**. Revista Brasileira de Infraestrutura, v. 14, n. 3, p. 45-60, 2021.
- CAVALCANTE, F. G. **Estudo dos Efeitos das Pontes, Rugosidade e Declividade Longitudinal no Escoamento em Canal Artificial Urbano Aplicando Modelagem Computacional**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, 2017.
- AGÊNCIA TOCANTINS. **Ponte sobre o lago de Palmas recebe o nome de Governador José Wilson Siqueira Campos**. Disponível em: <https://www.agenciatocantins.com.br/noticia/81333/ponte-sobre-o-lago-de-palmas-recebe-o-nome-de-governador-jose-wilson-siqueira-campos>. Acesso em: 20 jan. 2025.
- AGETO (Agência de Transportes, Obras e Infraestrutura). **Plano Estadual de Logística de Transporte do Tocantins (PELT-TO)**. Palmas: Governo do Estado do Tocantins, 2023.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Impactos de Investimentos em Infraestrutura no Brasil**. Brasília, 2020.

PREFEITURA DE PALMAS. **Plano de mobilidade urbana de Palmas**. Disponível em: https://www.palmas.to.gov.br/media/orgao/documentos/Apresentacao_PlanMob. Acesso em: 20 jan. 2025.

ECLIPSE FOUNDATION. **SUMO (Simulation of Urban MObility)**. Disponível em: <https://www.eclipse.org/sumo>. Acesso em: 20 jan. 2025.

APÊNDICE A - DEFINIÇÃO DOS TIPOS DE VEÍCULO (VTYPE)

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<routes
    xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
    xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.dlr.de/xsd/routes_file.xsd">

    <vType id="carro" vClass="passenger" emissionClass="HBEFA3/PC_G_EU4" accel="2.6"
    decel="4.5" sigma="0.5" length="4.5" maxSpeed="27.78" guiShape="passenger"
    minGap="2.5"/>

    <vType id="moto" vClass="motorcycle" emissionClass="HBEFA3/PC_G_EU4"
    accel="3.0" decel="5.0" sigma="0.4" length="2.0" maxSpeed="30.56"
    guiShape="motorcycle" minGap="1.0"/>

    <vType id="caminhao" vClass="truck" emissionClass="HBEFA3/HDV_D_EU4"
    accel="1.5" decel="3.0" sigma="0.8" length="10.0" maxSpeed="25.00" guiShape="truck"
    minGap="3.0"/>

    <vType id="onibus" vClass="bus" emissionClass="HBEFA3/HDV_D_EU4" accel="1.8"
    decel="3.5" sigma="0.6" length="12.0" maxSpeed="22.22" guiShape="bus" minGap="2.0"/>

    <vType id="comercial_leve" vClass="delivery" emissionClass="HBEFA3/PC_G_EU4"
    accel="2.0" decel="4.0" sigma="0.5" length="5.5" maxSpeed="27.78" guiShape="delivery"
    minGap="2.0"/>

```

APÊNDICE B - CRIAÇÃO DOS FLUXOS DE TRÁFEGO (<FLOW>)

```
<route id="rota_palmas_luzimangues_principal" edges="180987222#2 180987222#2.22 -
205486336 -1308838300 -1308838300.1220 -1308838300.1306 -1308838300.1382 -
1308838300.1923 -1308838300.2013 -1308838300.2093 -205486335 -205486335.1058 -
2054863350 -2054863350.82 -205486335.2749 -205486335.3261 -49837928"/>
```

```
<route id="rota_luzimangues_palmas_principal" edges="49837928 49837928.1261
205486335.2749 205486335 2054863350 205486335.1058 205486335.1145 1308838302
1308838300.2013 1308838300.1382 1308838300.13820 1308838300.1306 1308838300
13088383000 205486336 180987228#0 180987228#1"/>
```

```
<flow id="carro_p_l_1" type="carro" route="rota_palmas_luzimangues_principal"
begin="0" end="900" vehsPerHour="304" departLane="free" departPos="random_free"
departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="moto_p_l_1" type="moto" route="rota_palmas_luzimangues_principal"
begin="0" end="900" vehsPerHour="84" departLane="free" departPos="random_free"
departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="caminhao_p_l_1" type="caminhao" route="rota_palmas_luzimangues_principal"
begin="0" end="900" vehsPerHour="32" departLane="free" departPos="random_free"
departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="onibus_p_l_1" type="onibus" route="rota_palmas_luzimangues_principal"
begin="0" end="900" vehsPerHour="8" departLane="free" departPos="random_free"
departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="comercial_leve_p_l_1" type="comercial_leve"
route="rota_palmas_luzimangues_principal" begin="0" end="900" vehsPerHour="4"
departLane="free" departPos="random_free" departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="carro_l_p_1" type="carro" route="rota_luzimangues_palmas_principal"
begin="0" end="900" vehsPerHour="348" departLane="free" departPos="random_free"
departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="moto_l_p_1" type="moto" route="rota_luzimangues_palmas_principal"
begin="0" end="900" vehsPerHour="444" departLane="free" departPos="random_free"
departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="caminhao_l_p_1" type="caminhao" route="rota_luzimangues_palmas_principal"
begin="0" end="900" vehsPerHour="44" departLane="free" departPos="random_free"
departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="onibus_l_p_1" type="onibus" route="rota_luzimangues_palmas_principal"
begin="0" end="900" vehsPerHour="16" departLane="free" departPos="random_free"
departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="carro_p_l_2" type="carro" route="rota_palmas_luzimangues_principal"
begin="900" end="1800" vehsPerHour="80" departLane="free" departPos="random_free"
departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="moto_p_l_2" type="moto" route="rota_palmas_luzimangues_principal"
begin="900" end="1800" vehsPerHour="156" departLane="free" departPos="random_free"
departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="caminhao_p_l_2" type="caminhao" route="rota_palmas_luzimangues_principal"
begin="900" end="1800" vehsPerHour="56" departLane="free" departPos="random_free"
departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="onibus_p_l_2" type="onibus" route="rota_palmas_luzimangues_principal"
begin="900" end="1800" vehsPerHour="8" departLane="free" departPos="random_free"
departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="comercial_leve_p_l_2" type="comercial_leve"
route="rota_palmas_luzimangues_principal" begin="900" end="1800" vehsPerHour="12"
departLane="free" departPos="random_free" departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="carro_l_p_2" type="carro" route="rota_luzimangues_palmas_principal"
begin="900" end="1800" vehsPerHour="80" departLane="free" departPos="random_free"
departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="moto_l_p_2" type="moto" route="rota_luzimangues_palmas_principal"
begin="900" end="1800" vehsPerHour="544" departLane="free" departPos="random_free"
departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="caminhao_l_p_2" type="caminhao" route="rota_luzimangues_palmas_principal"
begin="900" end="1800" vehsPerHour="28" departLane="free" departPos="random_free"
departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="onibus_l_p_2" type="onibus" route="rota_luzimangues_palmas_principal"
begin="900" end="1800" vehsPerHour="16" departLane="free" departPos="random_free"
departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="comercial_leve_l_p_2" type="comercial_leve"
route="rota_luzimangues_palmas_principal" begin="900" end="1800" vehsPerHour="12"
departLane="free" departPos="random_free" departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="carro_p_l_3" type="carro" route="rota_palmas_luzimangues_principal"
begin="1800" end="2700" vehsPerHour="112" departLane="free" departPos="random_free"
departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="moto_p_l_3" type="moto" route="rota_palmas_luzimangues_principal"
begin="1800" end="2700" vehsPerHour="96" departLane="free" departPos="random_free"
departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="caminhao_p_l_3" type="caminhao" route="rota_palmas_luzimangues_principal"
begin="1800" end="2700" vehsPerHour="48" departLane="free" departPos="random_free"
departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="onibus_p_l_3" type="onibus" route="rota_palmas_luzimangues_principal"
begin="1800" end="2700" vehsPerHour="8" departLane="free" departPos="random_free"
departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="comercial_leve_p_l_3" type="comercial_leve"
route="rota_palmas_luzimangues_principal" begin="1800" end="2700" vehsPerHour="8"
departLane="free" departPos="random_free" departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="carro_l_p_3" type="carro" route="rota_luzimangues_palmas_principal"
begin="1800" end="2700" vehsPerHour="484" departLane="free" departPos="random_free"
departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="moto_l_p_3" type="moto" route="rota_luzimangues_palmas_principal"
begin="1800" end="2700" vehsPerHour="764" departLane="free" departPos="random_free"
departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="caminhao_l_p_3" type="caminhao" route="rota_luzimangues_palmas_principal"
begin="1800" end="2700" vehsPerHour="36" departLane="free" departPos="random_free"
departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="onibus_l_p_3" type="onibus" route="rota_luzimangues_palmas_principal"
begin="1800" end="2700" vehsPerHour="12" departLane="free" departPos="random_free"
departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="comercial_leve_l_p_3" type="comercial_leve"
route="rota_luzimangues_palmas_principal" begin="1800" end="2700" vehsPerHour="16"
departLane="free" departPos="random_free" departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="carro_p_l_4" type="carro" route="rota_palmas_luzimangues_principal"
begin="2700" end="3600" vehsPerHour="144" departLane="free" departPos="random_free"
departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="moto_p_l_4" type="moto" route="rota_palmas_luzimangues_principal"
begin="2700" end="3600" vehsPerHour="88" departLane="free" departPos="random_free"
departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="caminhao_p_l_4" type="caminhao" route="rota_palmas_luzimangues_principal"
begin="2700" end="3600" vehsPerHour="40" departLane="free" departPos="random_free"
departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="onibus_p_l_4" type="onibus" route="rota_palmas_luzimangues_principal"
begin="2700" end="3600" vehsPerHour="4" departLane="free" departPos="random_free"
departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="comercial_leve_p_l_4" type="comercial_leve"
route="rota_palmas_luzimangues_principal" begin="2700" end="3600" vehsPerHour="4"
departLane="free" departPos="random_free" departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="carro_l_p_4" type="carro" route="rota_luzimangues_palmas_principal"
begin="2700" end="3600" vehsPerHour="168" departLane="free" departPos="random_free"
departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="moto_l_p_4" type="moto" route="rota_luzimangues_palmas_principal"
begin="2700" end="3600" vehsPerHour="636" departLane="free" departPos="random_free"
departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="caminhao_l_p_4" type="caminhao" route="rota_luzimangues_palmas_principal"
begin="2700" end="3600" vehsPerHour="28" departLane="free" departPos="random_free"
departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="onibus_l_p_4" type="onibus" route="rota_luzimangues_palmas_principal"
begin="2700" end="3600" vehsPerHour="8" departLane="free" departPos="random_free"
departSpeed="max"/>
```

```
<flow id="comercial_leve_l_p_4" type="comercial_leve"
route="rota_luzimangues_palmas_principal" begin="2700" end="3600" vehsPerHour="4"
departLane="free" departPos="random_free" departSpeed="max"/>
```

```
</routes>
```

APÊNDICE C - CONFIGURAÇÃO DE EXECUÇÃO DA SIMULAÇÃO (.SUMOCFG)

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>

<configuration xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.dlr.de/xsd/sumoConfiguration.xsd">

  <input>
    <net-file value="PONTE.net.xml"/>
    <route-files value="trafego_ponte.FLOW.rou.xml"/>
  </input>

  <time>
    <begin value="0"/>
    <end value="3600"/>
    <step-length value="0.1"/>
  </time>

  <processing>
    <time-to-teleport value="-1"/>
  </processing>

  <routing>
    <routing-algorithm value="dijkstra"/>
  </routing>

  <report>
    <verbose value="true"/>
    <no-step-log value="true"/>
  </report>

  <output>
    <tripinfo-output value="tripinfo_cenario_atual.xml"/>
    <fcd-output value="fcd_cenario_atual.xml"/>
    <emission-output value="emissoes_cenario_atual.xml"/>
  </output>
</configuration>

```