

Microssimulação de tráfego em rotatórias – um estudo de caso na cidade de Sete Lagoas / MG utilizando o sumo.

Willian Daniel Henriques do Amaral¹

Maria do Socorro de Carvalho²

¹ Universidade Federal de Viçosa
Departamento de Engenharia Civil

² Universidade Federal de Minas Gerais

Programa de Pós-Graduação em Geotecnia e Transportes

¹ Rua José Lourenço Kelmer, s/n - São Pedro, Juiz de Fora – MG
(32) 8864.6502

² Rua Santa Rita, 127 – São João – Sete Lagoas – MG
(31) 98638.6940

socorrocarvalh@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

O deslocamento de pessoas é um dos fatores que influenciam a qualidade de vida de uma sociedade e, por consequência, impacta profundamente em seu desenvolvimento (Ferraz e Torres, 2004). Assim sendo, o tempo de deslocamento de casa ao trabalho é fator crucial na qualidade de vida pelo fato de que afeta diretamente a jornada cotidiana dos cidadãos. Pode-se dizer, portanto, que a mobilidade urbana exerce uma influência indireta, mas significativa, sobre o bem-estar social e, por este motivo, exerce papel importante na discussão sobre desenvolvimento regional urbano (Pero e Stefanelli, 2015).

Sob o aspecto dos congestionamentos de tráfego, a Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento (OECD) frisa que um aumento da confiabilidade e previsibilidade do tempo gasto em trânsito pode reduzir drasticamente o custo associado aos congestionamentos em cidades de médio e grande portes. Em contraponto, a falta de uma política voltada para a otimização da malha de transportes causa um consequente aumento dos custos em transporte, sacrificando a camada economicamente menos favorecida da população (OECD Transport Research Centre, 2007).

Segundo os dados divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no último censo realizado o número de automóveis no país cresceu 138,6%, enquanto a população brasileira teve expansão de apenas 12,2% (Brasil, 2010). Já Carvalho (2016) aponta, em seu estudo, um aumento dos tempos de viagens casa-trabalho nas regiões urbanas brasileiras como consequência negativa advinda do novo padrão de mobilidade individualizado dos dias atuais, principalmente nos grandes centros urbanos, onde se concentra a maior parte da frota de veículos.

De posse dos dados de tráfego, levantados por contagens volumétricas em horários de pico de fluxo de veículos e de horários de baixo tráfego, realizaram-se simulações no software SUMO para comparar a situação real encontrada in situ com possíveis soluções de baixo impacto de implantação na infraestrutura semaforizada existente.

Por fim, conclui-se que as simulações de tráfego podem minimizar consideravelmente as situações de congestionamentos em centros urbanos sem o ônus da experimentação física. Em ambos os cenários simulados pode-se constatar uma melhora do tempo de deslocamento na área estudada uma vez adotadas as medidas propostas. Ainda assim, estudos mais aprofundados devem ser conduzidos no cenário analisado para que uma proposta concreta seja apresentada à cidade de Sete Lagoas.

Portanto, este trabalho visa realizar um estudo de caso na cidade de Sete Lagoas/MG, com população estimada de 242 mil habitantes e situada a aproximadamente 70 quilômetros da capital do estado de Minas Gerais (IBGE, 2021). A cidade, situada às margens da BR-040, possui forte vocação industrial e de serviços, além de servir de entroncamento com as rodovias BR-135, BR-238 e BR-424. Como alvo do estudo, escolheu-se uma rotatória

frequentemente afetada por congestionamentos no ponto onde a Rua Santa Juliana encontra a BR-238 e outras vias arteriais da cidade.

Objetivos do trabalho

Diante do exposto, o objetivo geral desse trabalho é a análise de um trecho rodoviário com rotatória que possui vários semáforos e a partir daí, a elaboração de cenários através de simulação, utilizando o aplicativo SUMO e suas ferramentas.

Objetivo Específico:

Quantificar o fluxo de veículos da rotatória.

Identificar as intervenções semaforicas.

Identificar os pontos passíveis de eliminação e/ou melhoria.

DIAGNÓSTICO

O simples fato de circular pelas vias urbanas ou rurais proporciona aos condutores e pedestres uma espécie de conhecimento empírico sobre o trânsito. Entretanto, para que se faça uso do trânsito motorizado nas vias, esse conhecimento precisa passar pelos processos educativos solicitados no Sistema Nacional de Trânsito com consequente habilitação para tal. Ainda assim, nem sempre esse conhecimento é suficiente para impedir que acidentes e atropelamentos aconteçam, principalmente em cruzamentos.

De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) em seu Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas (DNIT, 2010), no tocante aos congestionamentos, o conceito não se petrifica sobre um trânsito absolutamente parado e sim, em um trânsito que, à medida que a capacidade da via em estudo se aproxima do limite de projeto, pequenas paradas vão acontecendo. Com isso, reduções do fluxo de veículos são esperadas e, posteriormente, pode-se atingir a situação de parada completa dos veículos. Nas vias onde se observam intervenções semaforicas, possíveis incrementos no tempo de parada do tráfego, culminando em maiores congestionamentos e consequente aumento no tempo de viagem, bem como aumento do nível de stress dos condutores (DNIT, 2010).

Quantificando o problema dos congestionamentos, Young et al. (2013) estimaram que os custos econômicos causados por congestionamentos na região metropolitana do estado do Rio de Janeiro variaram entre 6,7 e 13,5 bilhões de reais, o que correspondeu a uma fatia de 1,9% a 3,8% do PIB do estado de acordo com o censo demográfico de 2010. Dados semelhantes foram obtidos pela OECD (2007).

De forma a minimizar os impactos dos congestionamentos nas zonas urbanas, simulações de tráfego são ferramentas poderosas de análise e otimização dos pontos críticos da malha viária existente, uma vez que os objetivos da Engenharia de Tráfego e dos Sistemas Inteligentes de Transportes são prover soluções para o problema do congestionamento veicular por meio de tecnologias da informação e de comunicação (Urquiza-Aguiar et al., 2020). Neste cenário, diversos softwares de simulação surgem e, entre eles, o Simulation of Urban Mobility (SUMO) ganha popularidade na área de transportes pelo seu potencial de uso e acurácia (Krajzewicz et al., 2012).

Revisão Conceitual Sobre Rotatórias:

A instituição do Código de Trânsito Brasileiro (CTB) em 1997, trouxe no artigo 29, o estabelecimento das normas para as vias terrestres e para as rotatórias determina que a preferência de passagem é sempre de quem está circulando pela rotatória, exceto quando houver sinalização indicativa de nova instrução (grifo nosso). Ainda no CTB, no Artigo 215, deixar de dar preferência de passagem em interseção não sinalizada a veículo que estiver circulando por rodovia ou rotatória é uma infração grave passível de ser penalizado com multa. A legislação oficial não apresenta um conceito para a rotatória. Mas, no site Portal do Trânsito, encontrou-se uma definição: “rotatória” é um recurso de engenharia cujo objetivo é evitar o encontro de fluxos que se cruzariam, dispensando também a instalação de semáforos. Acrescenta ainda que não há no Código a definição do que seja “rotatória”, apesar de haver regra de como se portar diante dela e deixam para as autoridades que optem por

essa solução de engenharia, a seguinte dica: além de implantar uma “rotatória” que realmente imponha um deslocamento circular (e não mero desvio), recomendável que se mantenha a sinalização horizontal e vertical, pois, como procuramos demonstrar, a ausência dessa definição seria uma prejudicial ao condutor de saber como se comportar diante de tais situações com base nas regras gerais.

No dicionário Priberam (2022), rotatória é definida como: Praça ou largo circular onde desembocam várias ruas e o trânsito se processa em sentido giratório. Também chamado de rotunda. Já o dicionário Conceitos (2015), considera que é possível encontrar vários nomes para as rotatórias, sendo que essa variação ocorre nas diversas regiões do país. No Distrito Federal elas são popularmente chamadas de balão, em algumas cidades do Nordeste, elas são chamadas de trevo, no Rio Grande do Sul, de rótula Wikipédia (2022).

O conceito encontrado no Manual de projeto de interseções (DNIT, 2005), define rotatória/rótula como uma interseção na qual o tráfego circula num só sentido ao redor de uma ilha central e rótula vazada como uma solução em que as correntes diretas da via principal atravessam uma ilha central, em torno da qual as demais correntes circulam no sentido anti-horário. De acordo com o manual, as rótulas, também chamadas de interseções tipo G apresentam as seguintes características: são projetadas de modo a diminuir a velocidade dos veículos; suas área de circulação podem ser projetadas com raios pequenos, elevações, saliências e/ou estreitamentos nas saídas e entradas, além de Parada Obrigatória antes de entrar na área de circulação; deve ter acesso controlado por sinalização vertical ou marcas no pavimento, indicando a preferência de tráfego; apresentam grande capacidade de fluxo; redução nos tempos de espera nos horários e pico e requerem pouca manutenção especializada.

SOFTWARE SIMULATION OF URBAN MOBILITY (SUMO-GUI):

De forma a minimizar os impactos dos congestionamentos nas zonas urbanas, simulações de tráfego são ferramentas poderosas de análise e otimização dos pontos críticos da malha viária existente, uma vez que os objetivos da Engenharia de Tráfego e dos Sistemas Inteligentes de Transportes são prover soluções para o problema do congestionamento veicular por meio de tecnologias da informação e de comunicação (Urquiza-Aguiar et al., 2020). Neste cenário, diversos softwares de simulação surgem e, entre eles, o Simulation of Urban Mobility (SUMO) ganha popularidade na área de transportes pelo seu potencial de uso e acurácia (Krajzewicz et al., 2012).

O SUMO (Simulation of Urban MObility) " é um pacote de simulação de tráfego de código aberto, altamente portátil, microscópico e contínuo projetado para lidar com grandes redes. Ele permite a simulação intermodal incluindo pedestres e vem com um grande conjunto de ferramentas para criação de cenários. É desenvolvido principalmente por funcionários do Instituto de Sistemas de Transporte do Centro Aeroespacial Alemão (site sumo).

O sumo-gui é basicamente o mesmo aplicativo que sumo, apenas estendido por uma interface gráfica de usuário que tem por objetivo simular um cenário definido. Pode ser instalado no Windows ou no Linux, utiliza linguagem de programação C++. Algumas ferramentas compõe o pacote disponível para download, o OSM Web Wizard, que é uma ferramenta para captura de imagens de mapa em tempo real, o netedit que permite a elaboração de redes, o próprio sumo que é utilizado para edição de comandos e o sumogui onde é possível executar a simulação na rede.

Características da Rotatória:

Quando foi construída, há muitos anos, a rotatória apresentava uma geometria de ilha com uma divisão bem ao centro, em linha reta e as outras entradas tinha, seu fluxo no entorno da ilha, conforme Figura1.

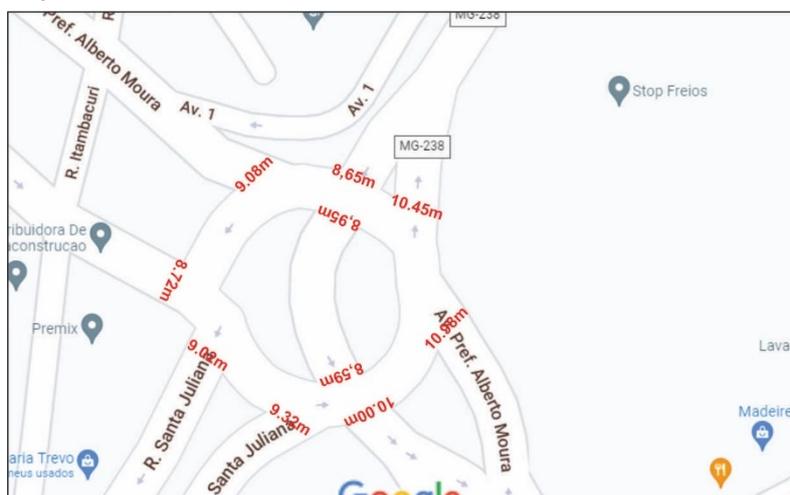
Figura 1: Rotatória Antiga



Fonte: Google Maps

Após a reforma ocorrida no ano de 2020, em que houve a instalação dos semáforos, a rotatória passou a ter uma rótula vazada em seu centro. Hoje, a ilha tem área total de 3.464,88 m² e uma distância total de 211,78 m, enquanto a o canteiro (centro) da ilha apresenta uma área total de 1.598,70 m² e uma distância total de 145,47 m. Suas entradas e saídas são irregulares. Essas diferenças impactam consideravelmente nas extensões e consequentemente nos tempos necessários para um fluxo completo.

Figura 2: Medidas das entradas/saídas da rotatória



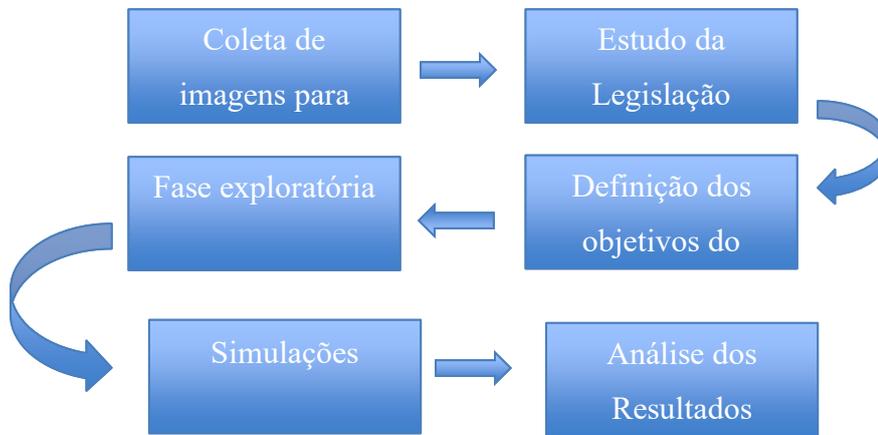
Fonte: Autores

As pistas de circulação são pintadas no chão e a maioria delas apresenta sinal de três faixas de tráfego, que na prática não são utilizadas, principalmente por causa da irregularidade das medidas demonstradas na Figura 2.

PROPOSIÇÕES

Para o desenvolvimento desse trabalho foi elaborado uma estrutura metodológica desenvolvida em seis etapas, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3: Estrutura metodológica do estudo

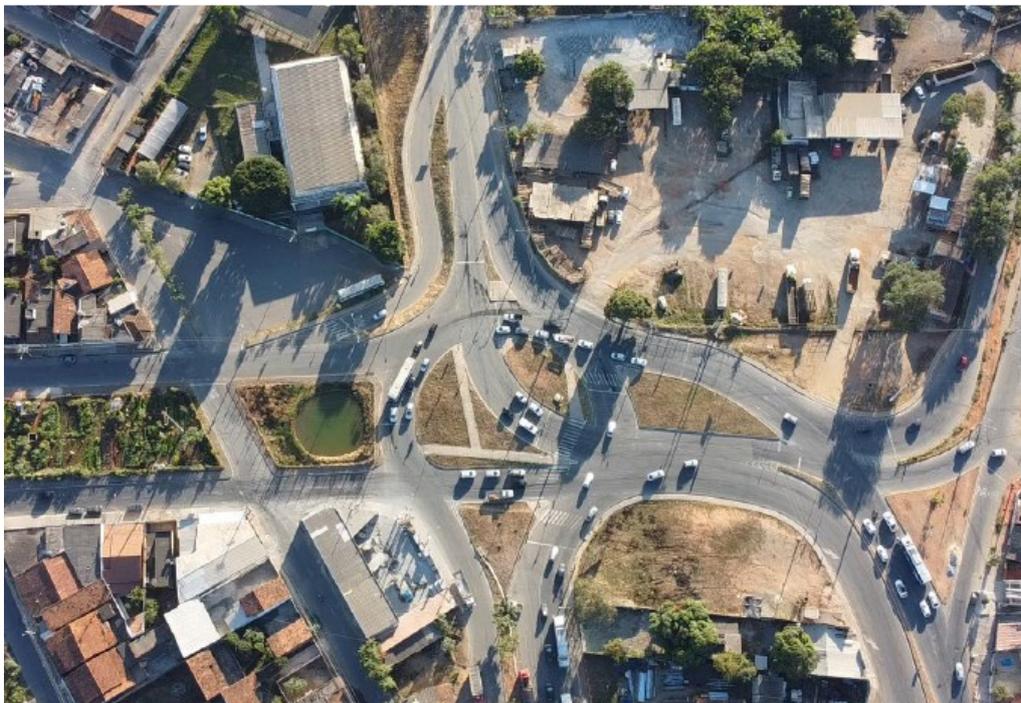


Fonte: Os Autores

Este trabalho empregou uma metodologia de estudo de caso (Provdanov e Freitas, 2013), onde dados quantitativos de um cenário real foram inseridos no software de simulação de mobilidade urbana SUMO, de distribuição e uso livres, como aporte para a análise e discussão de possíveis medidas a serem tomadas no local de estudo.

O local analisado foi uma rotatória situada no encontro da Rua Santa Juliana com a rodovia BR-238 na cidade de Sete Lagoas/MG, caracterizada por elevado trânsito de veículos de pequeno, médio e grande portes, uma vez que faz a conexão de importantes vias locais com uma rodovia federal na interconexão urbana, conforme ilustra a Figura 4.

Figura 4: Local do estudo



Fonte: Os autores

Na região objeto desse estudo, constatou-se a presença de 14 intervenções semaforizadas, sendo que, destas, 5 estão situadas dentro da própria rotatória. Analisando a Figura 4, é possível perceber que as entradas para a rotatória ficam livres e que o centro da mesma se apresenta congestionado.

Localizou-se ainda, rótula vazada, também semaforizada, que faz parte e coaduna com os engarrafamentos existentes nessa região e cuja retirada pode fazer parte de um segundo momento desse estudo.

Na primeira etapa foram coletadas imagens aéreas e terrestres para análise inicial sobre a viabilidade e pertinência do desenvolvimento do estudo, na segunda, foi feita uma breve revisão da literatura sobre a legislação das interseções de trânsito no que tange às rotatórias no perímetro urbano para bem aplicar sua evolução nesse estudo. Após a definição do objetivo do estudo, foram realizadas medições volumétricas para melhor entendimento do fluxo e suas variações no decorrer do dia. Para conclusão da quinta etapa, utilizou-se a ferramenta Netedit para montagem da rede e em seguida, o SUMO GUI foi utilizado para simulação e geração dos cenários. A última etapa culminou na análise dos dados obtidos através da geração dos cenários.

RESULTADOS

A coleta de dados foi realizada localmente por meio de observações e contagens volumétricas do tráfego em dois horários distintos, 10:00h e 18:00h, de forma a caracterizar os fluxos da via em horário de pico (18:00h) e em horário de baixo volume de tráfego (10:00h). As medições tiveram duração total de 60 minutos e foram segmentadas em frações de 15 minutos, para determinação do volume máximo no horário avaliado. Os volumes de tráfego são ilustrados nas Tabelas 1 e 2, a seguir.

Tabela 1: Volume horário de tráfego aferido

Hora	Carros	Ônibus	Caminhões	Motocicletas
10:00h – 11:00h	126	7	30	70
18:00h – 19:00h	446	32	95	237

Tabela 2: Volume quartil máximo de tráfego aferido

Hora	Carros	Ônibus	Caminhões	Motocicletas
10:15h – 11:00h	41	2	10	22
18:15h – 18:30h	125	13	22	51

Com base nas observações, pôde-se constatar que o fator de hora de pico (FHP), expresso pela Equação 1, foi igual a 0,62 para o período de 10:00h – 11:00h e de 0,95 para o período de 18:00h – 19:00h, indicando um fluxo uniforme e de grandes volumes de tráfego para o horário de pico no local observado.

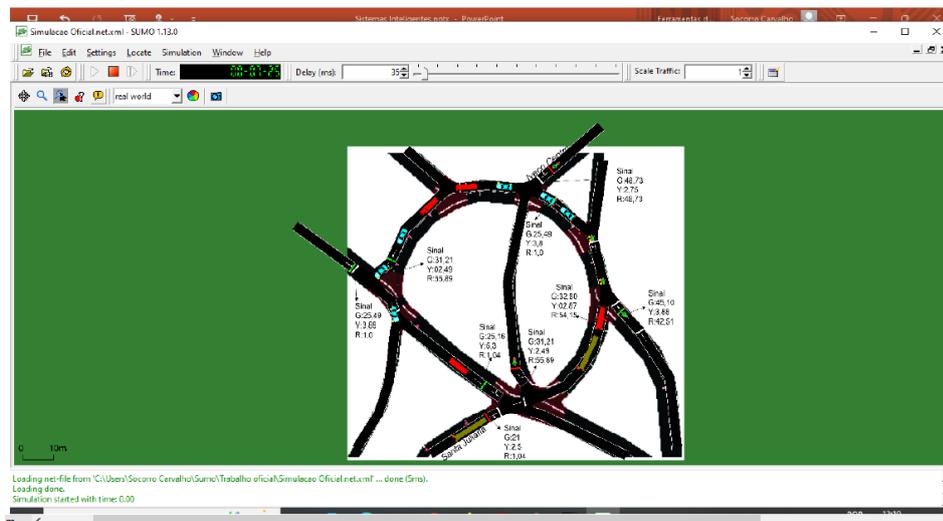
$$FHP = VH / (4V15max) \quad (1)$$

em que FHP: Fator de hora de pico;
 VH: Volume da hora de pico;
 V15max: Volume quartil máximo de tráfego aferido na hora de pico;

De posse dessas informações, valida-se a percepção da população local de que a via em estudo se aproxima da capacidade máxima de escoamento em horários de pico, tornando-se necessária uma medida corretiva de engenharia de tráfego. Para tal, utilizando o software SUMO, modelaram-se quatro cenários simulando o maior tráfego atuante na rotatória durante um período de ciclo semaforizado de 90 segundos nas situações de pico e de tráfego leve. Os dois primeiros cenários contemplaram os veículos trafegando sob os efeitos da atual estrutura semaforizada, de temporizador fixo, em horário de pico e em horário de tráfego leve. Em seguida, repetiu-se a simulação para o período de pico e também de tráfego leve, excluindo-se a

estrutura semafórica presente na rotatória (5 semáforos) caracterizando os cenários 3 e 4 (Figura 5).

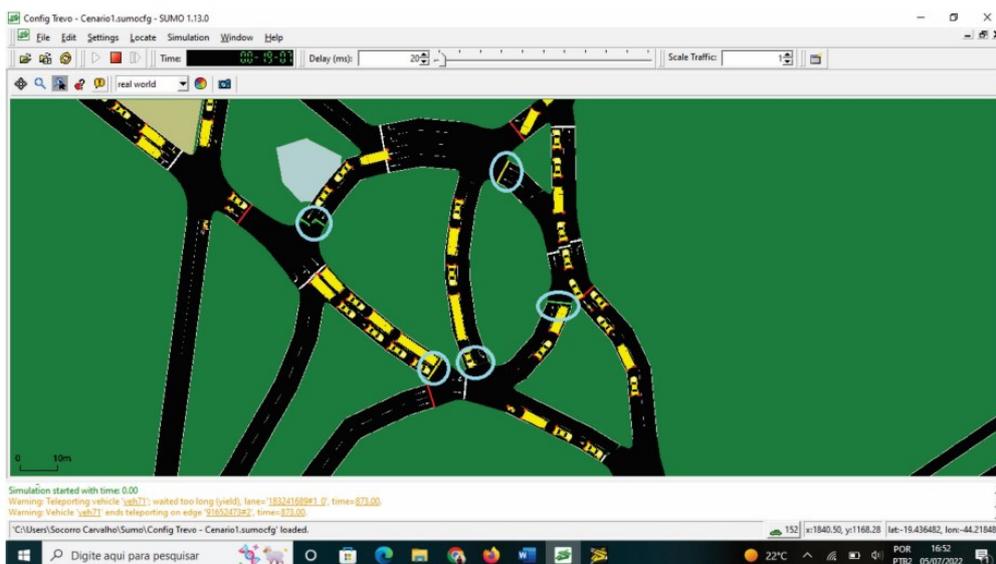
Figura 5: Parâmetros iniciais da simulação



Fonte: Os autores

Como resultado, obtém-se os valores médios de 16:32 minutos desde a chegada do veículo na rotatória até sua saída em situação de tráfego leve e de 02:38h em horário de pico. Prossegue-se então para a alternativa proposta, que consiste na retirada dos semáforos existentes, de temporizador fixo, no corpo da rotatória, conforme ilustra a Figura 6, permanecendo inalterados os equipamentos semafóricos que regulam o acesso dos veículos à mesma. A lógica implementada neste cenário foi a de preferência de passagem ao veículo que se encontra em circulação na rotatória, independentemente da permissibilidade de acesso concedida pelo semáforo regulador de entrada na estrutura viária, conforme estipulado pelo Manual de Projeto de Interseções (DNIT, 2005).

Figura 5: Parâmetros finais da simulação com remoção semafórica



Fonte: Os autores

Com o novo cenário, pôde-se observar melhora no fluxo de veículos em ambos os horários analisados, observando-se redução de 01:26 minutos no tempo médio decorrido entre a entrada e a saída de um dado veículo na rotatória no horário de menor fluxo de tráfego e, para o horário de pico, observou-se uma notável redução de 02:22 horas no tempo de tráfego na rotatória, atingindo-se um tempo médio de percurso de apenas 16:32 minutos.

CONCLUSÃO

Ao se comparar os tempos e fluxos do cenário real, com a presença semaforizada presente na estrutura da rotatória analisada, com a situação proposta, isto é, excluindo-se os semáforos e tornando a lógica de trânsito na interseção como sendo a de preferência de deslocamento aos veículos já em circulação em torno da ilha central, foi possível constatar sensível melhoria nos níveis de congestionamento. A remoção dos semáforos reguladores e a adaptação da sinalização de trânsito em acordo com os preceitos do DNIT em seu Manual de Projeto de Interseções concedeu fluidez aos veículos passantes na rótula estudada reduzindo, com efeito, a demora na transposição nos horários analisados com a vantagem adicional de redução nos custos de manutenção da infraestrutura.

Embora os resultados aqui obtidos sejam promissores, é recomendado um estudo mais aprofundado do comportamento do tráfego nas vias adjacentes à rotatória analisada, para melhor caracterização dos hábitos de viagem e horários de pico de trânsito, assim como um estudo pormenorizado dos tempos semaforizados atuantes nas vias de acesso à rótula.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carvalho, C. H. R. (2016) Mobilidade urbana sustentável: conceitos, tendências e reflexões. Brasília: Ipea. Disponível em <https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_2194.pdf> Acesso em junho de 2022.
- DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2005) Manual de Projeto de Interseções. Disponível em <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/718_manual_de_projeto_de_intersecoes.pdf>. Acesso em junho de 2022.
- DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2010) Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas. Disponível em <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/740_manual_projetos_geometricos_travessias_urbanas.pdf>. Acesso em junho de 2022.
- Ferraz, A. C. P., e Torres, I. G. E. (2004) Transporte Público Urbano. Rima Editora, São Carlos.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010) Censo Demográfico 2010. Disponível em <<https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=31>>. Acesso em junho de 2022.
- IBGE (2021) Cidades IBGE. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em junho de 2022.
- Krajzewicz, D., Erdmann, J., Behrisch, M., e Bieker-Walz, L. (2012) Recent Development and Applications of SUMO - Simulation of Urban MObility. International Journal On Advances in Systems and Measurements, 3 & 4.
- OECD (2007) Managing Urban Traffic Congestion. Oecd (p. 1–296). OECD, Paris. doi:10.1080/01441640701262949
- Pero, V., e Stefanelli, V. (2015) A Questão Da Mobilidade Urbana Nas Metrôpoles Brasileiras. Revista de Economia Contemporânea, 19(3), 366–402. doi:10.1590/198055271932
- Provdanov, C. C., e Freitas, E. C. D. (2013) Metodologia

do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. Novo Hamburgo: Feevale. Universidade FEEVALE, Novo Hamburgo. doi:10.1017/CBO9781107415324.004

Urquiza-Aguiar, L., Coloma-Gómez, W., Barbecho Bautista, P., e Calderón-Hinojosa, X. (2020) Comparison of SUMO's vehicular demand generators in vehicular communications via graph-theory metrics. *Ad Hoc Networks*, 106, 102217. doi:10.1016/j.adhoc.2020.102217

LEI Nº 9.503, DE 23 DE SETEMBRO DE 1997, http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9503compilado.htm, acessado em 13/07/22. <https://conceitos.com/rotatoria/#:~:text=Vale%20destacar%20que%20as%20rotat%C3%B3rias,a%20uma%20interse%C3%A7%C3%A3o%20vi%C3%A1ria%20especial,> acessado em 10/07/22.

<https://www.google.com.br/maps/@-19.4367827,-44.2175318,19z/data=!5m1!1e4>, acessado em 10/07/22.

<https://pt.wikipedia.org/wiki/Rotat%C3%B3ria>, acessado em 10/07/22.

<https://www.portaldotransito.com.br/opiniao/uso-da-rotatoria-preferencia-2/> acessado em 13/07/22.