|  |  |
| --- | --- |
| CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO – TCC | |
| () PRÉ-PROJETO   (X) PROJETO | ANO/SEMESTRE: 2024/1 |

Modelo de Sistema Multiagente para análise de impacto do tráfego na Cidade de Blumenau

Lucas Henrique Wagner

Prof. Aurélio Faustino Hoppe – Orientador

# Introdução

O rápido crescimento da população urbana e da frota de veículos tem sobrecarregado drasticamente a infraestrutura de transporte. Esse aumento exponencial tem resultado em congestionamentos frequentes, prolongando o tempo de deslocamento e causando sérios impactos econômicos, sociais e ambientais. Os engarrafamentos não apenas prejudicam a eficiência econômica, mas também contribuem para a poluição sonora e do ar, afetando a qualidade de vida dos cidadãos (DESSBESELL JUNIOR; FROZZA; MOLZ, 2015).

De acordo com Tiwary *et al*. (2011), mesmo com os avanços tecnológicos, o tráfego de veículos permanece como a principal fonte de emissão de poluentes em áreas urbanas. Os autores também ressaltam que o maior índice de emissões ocorre durante os momentos de parada e arranque dos veículos, situação comum em congestionamentos. Além disso, diariamente, os motoristas enfrentam altos níveis de estresse no trânsito. Como mencionado por Kondro (2010), o aumento da quantidade de veículos é uma resposta às demandas da população, porém, isso também se traduz em um aumento nos casos de estresse e problemas de saúde mental devido ao tempo prolongado de deslocamento, impactando negativamente a qualidade de vida e o bem-estar dos condutores.

Segundo Oliveira (2014), esse aumento acelerado no fluxo de veículos nas ruas exige que sejam feitas mudanças nas vias, tais como: construção de viadutos e alteração no sentido do tráfego dos veículos e nos temporizadores de semáforos. Caso não sejam devidamente estudadas, essas modificações podem causar congestionamentos e acidentes. Savi (2008, p. 15) afirma que a simulação é mais um instrumento do analista que pretende determinar o melhor sistema a ser implementado e melhorado. Já Ranghetti (2007, p. 13) destaca que através de simuladores de trânsito podem-se estudar mudanças nas vias, objetivando amenizar congestionamentos e controlar temporização dos semáforos. Ainda segundo o autor, o uso de simuladores auxilia na tomada de decisão em diversas áreas de estudo, diminuindo as chances de falha e assim, reduzindo o custo dos projetos. Isso porque simuladores são utilizados para submeter, computacionalmente, um sistema real a diversas situações e analisar seu comportamento. Além disso, Nazareth, Souza e Ribeiro (2015) reforçam que as simulações surgem como uma abordagem promissora para enfrentar os desafios complexos do tráfego urbano. Ao permitir uma análise detalhada das interações entre os diferentes elementos do tráfego e a implementação de estratégias adaptativas, elas possuem potencial de transformar significativamente a gestão do tráfego, tornando-o mais eficiente, seguro e sustentável.

Segundo Bazzan (2009), uma das formas de simular o comportamento do trânsito é através de abordagens que utilizam Sistemas MultiAgentes (SMA). Os SMAs consistem em múltiplos agentes que interagem entre si para alcançar objetivos tanto individuais quanto compartilhados. Dado que os agentes possuem limitações em termos de conhecimento e capacidade operacional, é comum que eles precisem cooperar para atingir seus propósitos. Bazzan, Klügl e Ossoswski (2010) afirmam que os SMAs têm a capacidade de modelar o comportamento dos diversos participantes em um sistema de tráfego, facilitando a compreensão e especificação de seus comportamentos e tomadas de decisão. Além disso, os SMAs são especialmente adequados para lidar com a natureza descentralizada e distribuída dos sistemas de tráfego modernos. Outra vantagem dos sistemas multiagentes é a capacidade de lidar com a diversidade de interesses e objetivos dos diversos participantes do sistema de tráfego. Por exemplo, enquanto alguns agentes podem priorizar a minimização do tempo de viagem, outros podem estar mais preocupados com a redução das emissões de poluentes ou com a segurança viária. Os SMAs permitem a coordenação e negociação entre esses diferentes objetivos, buscando soluções que equilibrem as necessidades de todos os envolvidos

Dentro deste contexto, encontra-se a cidade de Blumenau/SC, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE), possui uma população estimada de 361.855 (2022) com uma frota de 290.743 veículos (2021), tendo em média 0,79 veículos por pessoa. A cidade possui um sistema de monitoramento de trânsito que é utilizado pela Central de Controle de Operações (CCO), inaugurada em 2021, porém, não há um sistema de simulação de comportamento do trânsito seja para observar o fluxo ou para estimar eventuais Polos Geradores de Tráfegos (PGT), tais como: entroncamentos, semáforos, prédios comerciais e residenciais, escolas etc. A partir disso, esse trabalho visa utilizar Sistema Multiagente para simular o comportamento do trânsito de Blumenau, em específico, considerando a região central da cidade.

## OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo multiagente capaz de simular o trânsito de uma determinada área da cidade de Blumenau, levando em consideração seus agentes (motoristas), veículos e demais objetos (semáforos, prédios comerciais, escolas etc.).

Os objetivos específicos são:

1. integrar o modelo de simulação com dados reais do trânsito de Blumenau, permitindo uma validação precisa e uma análise realista do comportamento do tráfego;
2. avaliar o desempenho do sistema de simulação em termos de sua capacidade de reproduzir com precisão o fluxo de tráfego observado, identificando pontos de estrangulamento, áreas de congestionamento e potenciais melhorias na infraestrutura viária;
3. propor estratégias de gerenciamento de tráfego com base nos resultados da simulação, visando otimizar a fluidez do tráfego, reduzir os congestionamentos e minimizar os impactos negativos quanto o deslocamento e na qualidade de vida dos cidadãos.

# trabalhos correlatos

Nesta seção serão apresentados os trabalhos cujo tema possui semelhança ao objetivo deste projeto. A subseção 2.1 descreve o trabalho Wang *et al*. (2016) ao qual propuseram um sistema de reencaminhamento de veículos para escolha de rotas mais apropriadas. Na subseção 2.2 é apresentado um estudo sobre os impactos no fluxo de veículos em ruas que possuem vagas de estacionamento, visualizando sua influência na dinâmica do tráfego urbano (MALECKI, 2018). Por fim, a subseção 2.3 detalha o desenvolvimento um framework para auxílio de tomada de decisões, simulando cenários de tráfego e assim permitindo uma análise de suas capacidades (AUGERAUD *et al*., 2005).

## Next Road Rerouting: A multiagent system for mitigating unexpected urban traffic congestion

Wang *et al.* (2016) apresentam o Next Road Rerouting (NRR) um sistema de reencaminhamento de veículos altamente prático que é projetado para auxiliar os motoristas na escolha da rota menos congestionada. O modelo desenvolvido utiliza da tecnologia *Multi-agent System* (MAS) e, com isso consegue a disseminação dos impactos positivos do reencaminhamento do tráfego local para uma área maior, por meio da propagação natural do fluxo de tráfego dentro das áreas conectadas.

A abordagem técnica utilizada por Wang *et al.* (2016) se baseia em duas heurísticas principais: (i) a altruísta que visa equilibrar o tráfego que sai do cruzamento onde há o congestionamento, e (ii) a heurística egoísta que gera preferência para desviar a rota do veículo individual. Esta é a primeira etapa do processo de reencaminhamento de rota, onde os veículos são desviados ao redor de eventos no percurso, levando em consideração tanto fatores globais, como fatores centrados no veículo.

Na segunda parte do processo de reencaminhamento de rota, Wang *et al.* (2016) utilizaram o sistema *Vehicle Navegation System* (VNS) ao qual estabelece uma nova rota do fim do desvio até o destino do usuário. A rota sugerida pelo sistema VNS é a próxima rota mais rápida calculada utilizando o algoritmo A\* dinâmico. Desta forma, segundo os autores, é possível que os veículos sejam desviados para áreas de influência do evento no percurso, garantindo assim uma nova rota eficiente até o destino. A Figura 1 apresenta o diagrama de sequência referente ao processo de uso da NRR.

Figura 1 – Processo de uso da NRR

Diagrama

Descrição gerada automaticamente

Fonte: Wang *et al*. (2016).

Segundo Wang *et al*. (2016), a arquitetura é baseada no *Sydney Coordinated Adaptative Traffic System* (SCATS) e utiliza um módulo de comunicação V2I para garantir agilidade na comunicação entre a NRR e demais pontos do projeto. Os autores escolheram um subconjunto de TAPASCologne como cenário de avaliação para a NRR, um mapa realista de Cologne extraído do OpenStreetMap, utilizando a metodologia de *Travel and Activity Patterns Simulation* (TAPAS). O submapa possui uma área de 3,69km², devido às limitações de escolha para o reencaminhamento dos mapas, por isso, optou-se por um mapa 8x7, ou seja, 8 intersecções no eixo horizontal e 7 intersecções no eixo vertical.

Nos testes considerando um mapa 8x7, Wang *et al*. (2016) geraram uma demanda de tráfego de 30 minutos uniformemente, observando o comprimento da estrada e número de faixas para cada estrada. Neste período foram gerados eventos aleatórios como: (i) evento em rota, (ii) reencaminhamento egoísta e (iii) reencaminhamento altruísta. A partir disso, os autores constataram que com o uso da NRR houve uma redução do tempo médio da viagem tanto para os veículos que utilizavam o sistema como para os que não utilizavam, assim como permitindo uma maior confiabilidade no tempo de viagem previsto.

Com base nos resultados obtidos nas simulações, Wang *et al.* (2016) concluíram que existe uma grande eficácia do NRR em mitigar congestionamentos de tráfego inesperados, proporcionando uma redução significativa do tempo médio de viagem. Além disso, os autores ressaltam também a capacidade da NRR de equilibrar a carga de tráfego nas estradas de forma mais eficaz do que outras soluções existentes, sem desviar os veículos afetados por eventos para rotas muito mais longas.

Por fim, Wang *et al*. (2016) reconhecem algumas limitações em seu projeto, como a necessidade de avaliação de cenários mais complexos e variados, para testar a robustez e escalabilidade do NRR em diferentes contextos urbanos. Também apontam a necessidade de extensão a integração de tecnologias de comunicação Veículo-Infraestrutura (V2I) para uma melhor eficiência do sistema.

## a computer simulation of traffic flow with on-street parking and drivers’ behaviour based on cellular automata and multi-agent system

Malecki (2018) investigou o efeito da presença de estacionamentos nas vias sobre o fluxo de tráfego de veículos, analisando o comportamento dos motoristas durante o processo de estacionamento e sua influência na dinâmica do tráfego urbano. O autor desenvolveu um modelo matemático baseado em autômatos celulares juntamente com a tecnologia *Multi-agent System* (MAS) para descrever a dinâmica do estacionamento. O modelo proposto é assíncrono e não determinístico baseado em regras. Segundo Malecki (2018), o modelo possui duas camadas. A primeira (camada da estrada) é um grid CA que descreva a estrada e o parque de estacionamento. Já a segunda camada descreve os agentes (veículos) que executam determinadas tarefas específicas. O autor ainda ressalta que o modelo tem como base a arquitetura NaSch, que foi projetada originalmente para tráfego em rodovias.

De acordo com Malecki (2018), os autômatos celulares foram empregados para modelar a dinâmica do tráfego, enquanto o sistema multiagente foi utilizado para representar o comportamento dos motoristas durante o estacionamento. Essa combinação de técnicas permitiu que Malecki (2018) considerasse aspectos como a paciência dos motoristas, sua perceptividade e o uso de indicadores de direção, tornando a simulação mais realista e próxima das condições reais de tráfego urbano.

Malecki (2018) desenvolveu um programa de simulação computacional que consiste em duas camadas principais: (i) uma camada computacional, implementada em C++, onde os modelos de tráfego foram incorporados, e (ii) uma camada de visualização, desenvolvida em Qt Modeling Language (QML), que serviu como interface com o usuário. A comunicação entre essas camadas foi facilitada pelo uso de interfaces e mecanismos implementados em Qt. Essa abordagem permitiu ao autor simular diversos cenários de tráfego, incluindo obstáculos nas vias, semáforos, e o impacto de caminhões no tráfego, fornecendo informações valiosas sobre a interação entre o estacionamento na rua e o fluxo de veículos em ambientes urbanos. Na Figura 2 pode ser visto a tela principal do programa de simulação.

Figura 2 – Janela do programa de simulação

Interface gráfica do usuário, Aplicativo

Descrição gerada automaticamente

Fonte: Malecki (2018).

No primeiro cenário de teste, Malecki (2018) escolheu uma rua de mão única localizada na Polônia com duas faixas e um estacionamento na rua. Os motoristas foram classificados com base em fatores como velocidade de condução, uso de indicadores de direção e nível de paciência. A simulação computacional foi calibrada com dados de pesquisa de campo, resultando em uma análise detalhada do impacto da paciência dos motoristas na capacidade de tráfego. Já na segunda avaliação, o autor analisou o impacto da paciência dos motoristas na capacidade das estradas, definiu-se que 30% dos motoristas iriam ter o interesse em estacionar. De acordo com Malecki (2018), os resultados das simulações demonstram que o aumento na porcentagem de motoristas pacientes impacta positivamente no tempo de viagem e na velocidade média da estrada analisada.

Por fim, Malecki (2018) concluiu que a paciência moderada dos motoristas, combinada com a observância das regras de trânsito e o uso adequado dos indicadores de direção, pode contribuir significativamente para a eficiência do tráfego e a redução de congestionamentos. Além disso, a utilização de um sistema de orientação de estacionamento pode melhorar a capacidade de tráfego, especialmente em estacionamentos lotados, ressaltando a importância de uma abordagem planejada e responsável ao estacionar em áreas urbanas. Contudo, Malecki (2018) ressalta a dificuldade em determinar o momento exato em que os motoristas perdem a paciência e adotam comportamentos mais agressivos, o que pode afetar o fluxo de tráfego. Como extensões, o autor recomenda a realização de estudos em estradas de sentido único com uma faixa de tráfego, que são mais comuns em áreas urbanas, a fim de expandir a compreensão sobre o impacto do estacionamento no fluxo de tráfego e explorar ainda mais os comportamentos dos motoristas nesse contexto.

## simulation approach for urban traffic system: a multi-agent approch

Augeraud *et al*. (2005) desenvolveram um *framework* para simulação do tráfego urbano utilizando sistema multiagente tendo como intuito auxiliar nas decisões de gestores de tráfego e planejadores urbanos. Ainda de acordo com os autores, a modelagem utiliza grafos juntamente a uma abordagem *top-down* e análise do domínio. No modelo, Augeraud *et al*. (2005) consideram que os carros tomam decisões apenas em determinados pontos da rota. Por isso, o autor optou por um grafo direcionado, no qual as bifurcações são tratadas como vértices e as pistas são tratadas como arestas. A Figura 3 apresenta a arquitetura geral do framework para simulação do tráfego urbano.

Figura 3 – Modelagem do framework proposto

Diagrama

Descrição gerada automaticamente

Fonte: Augeraud *et al*. (2005).

A partir da Figura 3, pode-se observar que a arquitetura do sistema multiagente é dividida em três camadas: (i) simular o mundo urbano real e os seus tráfegos, (ii) gerir serviços e (iii) observar/gerir as informações. Neste contexto, de acordo com Augeraud *et al*. (2005), os agentes possuem seu próprio comportamento e interagem entre si. Além disso, os autores desenvolveram um painel de controle que permite ao usuário visualizar o que está acontecendo a partir de vários pontos do mapa.

Como experimentação, Augeraud *et al*. (2005) realizaram simulações a partir de um serviço de estacionamento de veículos elétricos chamado LISELEC na cidade de La Rochelle, no qual os usuários podem se cadastrar no sistema e utilizar veículos elétricos distribuídos em estacionamentos específicos. Este modelo multimodal permite que os usuários combinem o uso de veículos elétricos com outros meios de transporte como trens e deslocamento a pé dentro da cidade. Segundo os autores, os resultados da simulação incluem a análise da otimização de gestão do estacionamento e a previsão de melhorias, como o aumento de vagas e ou veículos disponíveis. Augeraud *et al*. (2005) ressaltam que a simulação contribui para a visualização de diferentes estratégias de gestão do estacionamento, como abertura de novos locais e o aumento das instalações para armazenar os veículos.

Por fim, Augeraud *et al*. (2005) reafirmam a importância das abordagens de simulação multiagente e sua aplicação na modelagem de sistemas de tráfego urbano, ressaltando a capacidade dessas técnicas em fornecer insights valiosos para a tomada de decisões em ambientes urbanos complexos. No entanto, os autores apontam algumas limitações, como a necessidade de validar os resultados da simulação com dados reais e a complexidade de modelar adequadamente a interação entre os diferentes agentes do sistema de tráfego urbano.

# proposta

Nesta seção serão apresentadas as justificativas para a concepção deste projeto, também serão apresentados os Requisitos Funcionas (RF) juntamente com os Requisitos Não Funcionais (RNF) e as metodologias que serão utilizadas.

## JUSTIFICATIVA

No Quadro 1 será apresentado o comparativo entre os trabalhos correlatos no entorno das características destacadas de cada um deles, com ele consegue-se entender melhor os objetivos que serão desenvolvidos neste projeto.

Quadro 1 – Comparativo dos trabalhos correlatos

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Trabalhos Correlatos  Características | Wang *et al*. (2016) | Malecki (2018) | Augeraud *et al*. (2005) |
| Objetivo principal | Mitigar congestionamentos inesperados | Analisar o efeito de estacionamentos nas vias públicas | Simulação para auxiliar decisões de gestão de tráfego urbano |
| Abordagem tecnológica | Multi-agent System (MAS), Vehicle Navigation System (VNS), Comunicação V2I, com heurísticas altruísta e egoísta | Cellular Automata (CA), Multi-agent System (MAS) | Multi-agent System (MAS), Grafos, Análise de Domínio |
| Cenários de teste | TAPASCologne (8x7), demanda de tráfego uniforme | Rua de mão única com estacionamento na Polônia | Serviço de estacionamento de veículos elétricos na cidade de La Rochelle |
| Resultados da simulação | Redução do tempo médio de viagem, melhoria da confiabilidade no tempo previsto | Impacto positivo da paciência dos motoristas, melhorias na capacidade de tráfego | Análise da gestão do estacionamento, previsão de melhorias |
| Limitações | Simulações mais complexas, para teste de escalabilidade | Determinação do momento da perda de paciência | Utilização de dados mais reais para um melhor resultado |

Fonte: elaborado pelo autor.

A partir do Quadro 1, pode-se perceber que todos os trabalhos possuem em sua essência duas características em comum, a abordagem do problema do tráfego de veículos nas cidades grandes e a utilização de sistemas multiagentes para a simulação e observação do comportamento dos motoristas e agentes no contexto do tráfego urbano. Enquanto Wang *et al*. (2016) se concentravam na mitigação de congestionamentos e no equilíbrio do tráfego, Malecki (2018) direcionava sua análise para compreender o comportamento dos motoristas diante dos estacionamentos de rua. Augeraud *et al*. (2005) buscavam fornecer suporte ao planejamento urbano através da simulação do tráfego.

Em relação a abordagem tecnológica, Wang *et al*. (2016) adotaram o Multi-agent System (MAS) e o Vehicle Navigation System (VNS) para criar o Next Road Rerouting (NRR), visando aliviar congestionamentos urbanos. Em contrapartida, Malecki (2018) optou pelos autômatos celulares e o Multi-agent System (MAS) para investigar o impacto dos estacionamentos de rua no tráfego. Augeraud *et al*. (2005) desenvolveram um *framework* com base em sistema multiagente e análise de domínio para simular estratégias de gestão do tráfego urbano.

No que diz respeito aos cenários de testes, Wang *et al*. (2016) avaliaram a eficácia do NRR na redução do tempo médio de viagem. Malecki (2018) conduziu suas análises em uma rua de mão única na Polônia para compreender a influência da paciência dos motoristas. Augeraud *et al*. (2005) utilizaram um serviço de estacionamento de veículos elétricos em La Rochelle para simular diferentes estratégias de gestão do tráfego. Contudo, os resultados de Wang *et al*. (2016) demonstraram uma redução significativa no tempo médio de viagem e uma maior confiabilidade nos tempos previstos. Já Malecki (2018) ressaltou a importância da paciência dos motoristas e da gestão eficiente dos estacionamentos para melhorar a fluidez do tráfego. Augeraud *et al*. (2005) destacaram a capacidade das abordagens de simulação multiagente em oferecer insights valiosos para o planejamento urbano

Considerando as abordagens dos trabalhos correlatos, este trabalho torna-se relevante e inédito no contexto de Blumenau, pois pretende simular o tráfego em uma área específica da cidade, utilizando sistemas multiagentes. Primeiramente, ao empregar sistemas multiagentes, acreditasse ser possível modelar de forma mais realista o comportamento dos diferentes elementos envolvidos no tráfego urbano, como veículos, pedestres e semáforos. Isso poderá permitir uma análise mais detalhada das interações dinâmicas entre esses agentes, possibilitando a identificação de padrões de fluxo e de comportamentos que influenciam diretamente na eficiência do sistema de tráfego.

Além disso, ao simular o tráfego em uma região específica de Blumenau, acreditasse ser possível adaptar o modelo às características únicas dessa área, levando em consideração fatores como a topografia, a infraestrutura viária, os pontos de interesse e as áreas de maior congestionamento. Dessa forma, os resultados da simulação podem ser relevantes para os gestores de tráfego locais, permitindo a identificação de soluções personalizadas e eficazes para os desafios enfrentados naquela região (alteração da infraestrutura viária, da sinalização, ao controle de semáforos e à implementação de medidas de mitigação de congestionamentos). Acredita-se que ao utilizar sistemas multiagentes, será possível criar uma modelo/ferramenta flexível e adaptável, capaz de simular diferentes cenários e avaliar o impacto de diferentes estratégias de intervenção no tráfego, auxiliando assim na construção de uma cidade mais eficiente e sustentável em termos de mobilidade urbana.

## REQUISITOS PRINCIPAIS DO PROBLEMA A SER TRABALHADO

O modelo multiagente que será desenvolvido deverá:

1. coletar e armazenar dados sobre o tráfego de veículos em Blumenau, incluindo informações sobre a densidade populacional, frota de veículos, padrões de deslocamento e pontos críticos de congestionamento (RF – Requisito Funcional);
2. utilizar algoritmos e regras de interação entre os agentes do sistema, considerando as peculiaridades do tráfego de Blumenau, como horários de pico e fluxo de veículos (RF);
3. representar os diferentes elementos do tráfego urbano, como veículos, pedestres, semáforos e agentes de controle de tráfego (RF);
4. simular o tráfego dos veículos em pontos fictícios (novas ruas) de ligação das ruas existentes na cidade (RF);
5. permitir que o usuário possa ajustar os parâmetros da simulação (RF);
6. apresentar indicadores do comportamento de cada agente e seu impacto para o ambiente (RF);
7. processar os volumes de dados e simulações de forma paralela (RNF – Requisito Não Funcional);
8. utilizar o paradigma de programação orientada a agentes (RNF);
9. ser desenvolvido na linguagem de programação Python e na ferramenta NetLogo ou GAMA (RNF).

## METODOLOGIA

O trabalho será desenvolvido observando as seguintes etapas:

1. levantamento bibliográfico: realizar o levantamento bibliográfico sobre tráfego urbano, sistemas multiagentes e trabalhos correlatos;
2. levantamento dos requisitos: baseando-se nas informações da etapa anterior, reavaliar os requisitos propostos para a aplicação;
3. definição do cenário de simulação: identificar os aspectos relevantes (estado global, dinâmicas globais/ entidades locais) que representem o ambiente dos agentes;
4. busca dos dados: buscar fontes de dados atráves APIs ou bases históricas para estabelecer o perfil dos agentes envolvidos na simulação;
5. coleta dos dados: realizar a coleta dos dados e informações de tráfego de Blumenau;
6. tratamento dos dados: com base nos itens (c) e (e) realizar o tratamento e limpeza dos dados utilizando a linguagem de programação Python;
7. definição e escolha da arquitetura de agentes: pesquisar as principais arquiteturas que possibilitem explorar a conexão entre o comportamento ao nível micro dos indivíduos e os padrões ao nível macro, escolhendo o mais adequado para o desenvolvimento do trabalho;
8. modelagem dos agentes: determinar as ações básicas dos agentes, e suas reações às entidades do ambiente;
9. implementação: desenvolver o modelo de simulação multiagente a partir dos itens (b) até (h), considerando inicialmente a arquitetura Believe-Desire-Intention (BDI), utilizando a linguagem de programação Python e a ferramenta NetLogo ou GAMA;
10. definição de parâmetros iniciais: determinar as informações do ambiente, as quais devem ser fornecidas aos agentes para que estes possam selecionar as ações a serem praticadas;
11. validação do modelo: avaliar o comportamento e a capacidade dos agentes em se adaptar a diferentes cenários de testes. Além disso, validar o modelo usando dados reais e históricos para garantir que as simulações reflitam de maneira precisa a realidade do trânsito em Blumenau.

As etapas serão realizadas nos períodos relacionados no Quadro 2.

Quadro 2 – Cronograma de atividades a serem realizadas

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 2024 | | | | | | | | | |
|  | jul. | | ago. | | set. | | out. | | nov. | |
| etapas / quinzenas | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| levantamento bibliográfico |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| levantamento dos requisitos |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| definição do cenário de simulação |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| busca dos dados |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| coleta dos dados |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| tratamento dos dados |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| definição e escolha da arquitetura de agentes |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| modelagem dos agentes |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| implementação |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| definição de parâmetros iniciais |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| validação do modelo |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Fonte: elaborado pelo autor.

# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção serão apresentados os principais conceitos que fundamentam o estudo proposto. A subseção 4.1 aborda tráfego urbano, apresentando suas características, problemas e consequências. Na subseção 4.2 apresenta os sistemas multiagentes, as características entorno e principais classificações.

## TRÁFEGO URBANO

Ao longo dos anos, governos, legisladores, pesquisadores e profissionais dos setores público e privado têm direcionado esforços para minimizar os impactos do congestionamento urbano. Nesta busca, segundo Oliveira (2014), até o momento, observou-se que o monitoramento preciso das condições de tráfego é o primeiro passo para o estabelecimento de um sistema eficaz de gestão e controle de tráfego. Com esse monitoramento, é possível quantificar o nível de congestionamento em termos de tempo e implementar medidas preventivas antes dos horários de pico. Oliveira (2014) também apontam que o congestionamento é um problema global que desafia o desenvolvimento de sistemas de transporte. Nesse contexto, o monitoramento do fluxo de tráfego surge como etapa inicial para o desenvolvimento de sistemas de gestão eficientes e para o alívio dos congestionamentos.

Pais *et al*. (2023) destacam que, atualmente, observa-se um grande aumento populacional nas cidades brasileiras, acompanhado por um crescimento significativo da frota de veículos. Consequentemente, os congestionamentos se tornam cada vez mais comuns nas áreas metropolitanas, especialmente em cidades que carecem de sistemas de controle de tráfego em tempo real. Neste sentido, segundo os autores, uma resposta frequente aos problemas de congestionamento em grandes cidades é a expansão da infraestrutura viária, seja pela construção de novas vias ou pela ampliação das existentes. Entretanto, essa solução acarreta diversos problemas, como o aumento da poluição sonora e atmosférica, impactando negativamente a qualidade de vida da população. Além disso, a criação de novas vias incentiva a aquisição de veículos, o que pode gerar novos problemas de tráfego em curto prazo (DOURADO; CAMPOS, 2007).

Embora não haja uma definição universal para o termo "engarrafamento", autores como Downs (2004) e Bertini (2005) consideram uma via congestionada quando sua velocidade média está abaixo da capacidade para a qual foi projetada. Por exemplo, uma via projetada para uma velocidade média de 60 km/h é considerada congestionada se a velocidade média for inferior a esse valor. Ploeg e Poelhekke (2008) explicam que o congestionamento pode variar de acordo com a demanda, sendo influenciado por fatores como o dia da semana, estações do ano, eventos especiais e feriados. A velocidade também pode ser afetada por acidentes, áreas urbanas, condições climáticas e horários de pico. Nas sociedades contemporâneas, observa-se um padrão de deslocamento em horários similares, principalmente devido ao trabalho e à escola. Isso resulta em uma alta concentração de viagens nos horários de pico, geralmente pela manhã, entre 7h e 9h, e à tarde, entre 17h e 19h.

Para Lacerda et al. (2005), o congestionamento urbano não se limita a consumir tempo e recursos financeiros, mas também contribui para o aumento do estresse e da poluição. O crescimento acelerado da frota de veículos motorizados tem gerado um aumento significativo nas queixas da população em relação ao ruído nas cidades, tanto no Brasil como em outros países. Pesquisas realizadas em diversas cidades apontam o ruído do tráfego como o principal fator para os elevados níveis sonoros medidos, além de ser a principal causa de incômodo em áreas urbanas.

Castro (2015, p.73) argumenta que a utilização de recursos computacionais para identificação e rastreamento de veículos pode auxiliar na resolução dos problemas de trânsito. Esses mecanismos possibilitariam o desenvolvimento e a implementação de semáforos inteligentes, entre outras soluções que contribuem para a melhoria da gestão do tráfego. Ainda segundo o autor, a utilização de sistemas multiagentes em simulações urbanas também se demonstra como uma alternativa viável. Essas simulações auxiliam na criação de sistemas de reencaminhamento de rotas em situações de congestionamento, bem como no desenvolvimento de sistemas que visam otimizar o tempo de viagem de veículos de transporte público (TLIG; BHOURI, 2011).

## SISTEMAS MULTIAGENTES

Tchappi *et al*. (2018) descrevem que sistemas multiagentes são compostos por agentes autônomos que interagem entre si para alcançar objetivos globais. Esses agentes possuem capacidade de perceber o ambiente, tomar decisões independentes e executar ações, muitas vezes de forma cooperativa. A interação entre os agentes pode ocorrer por meio de comunicação direta, troca de informações ou coordenação de atividades, permitindo a emergência de comportamentos complexos a partir das interações locais. Ainda segundo os autores, a importância dos sistemas multiagentes reside na capacidade de lidar com problemas complexos e dinâmicos, em que a interação entre múltiplos agentes pode levar a soluções mais eficientes e adaptativas. De acordo com Tchappi *et al*. (2018), essa abordagem descentralizada e distribuída permite a modelagem de sistemas complexos de forma mais realista, refletindo a natureza não linear e interconectada de muitos problemas do mundo real.

Segundo Parasumanna e Srinivasan (2010), os sistemas multiagentes oferecem diversas vantagens e benefícios que os tornam aplicáveis em várias áreas. Primeiramente, destacam-se por sua velocidade e eficiência, proporcionadas pelo uso de computação paralela e operações assíncronas. Além disso, esses sistemas são escaláveis e flexíveis, permitindo a adição ou remoção de agentes conforme necessário. Outro diferencial ressaltado pelos autores é o baixo custo, já que os agentes individuais são significativamente mais econômicos em comparação a uma arquitetura centralizada.

Dentro do paradigma de agentes, a classificação em (i) estrutura homogênea e (ii) estrutura heterogênea, apesar de abrangente, não aborda todos os atributos de um sistema multiagente. Embora a arquitetura interna seja um fator fundamental, englobando aspectos como a arquitetura dos agentes individuais e sua organização, características como aprendizado, comunicação e coordenação extrapolam essa classificação. Ou seja, segundo Parasumanna e Srinivasan (2010), enquanto a homogeneidade/heterogeneidade se refere à similaridade entre os agentes, os métodos de aprendizado (centralizado vs. distribuído), os protocolos de comunicação (e.g., mensagens, *blackboard*) e os mecanismos de coordenação (e.g., reativo, hierárquico) adicionam camadas de complexidade que exigem uma análise mais granular.

Em uma arquitetura homogênea, todos os agentes que compõem o sistema multiagente possuem a mesma estrutura interna. Essa arquitetura interna inclui objetivos locais, capacidades dos sensores, estados internos, mecanismos de inferência e ações possíveis. A diferença entre os agentes está em sua localização física e na parte do ambiente em que suas ações são realizadas. Cada agente recebe informações de diferentes partes do ambiente, e pode haver sobreposição nas entradas dos sensores recebidas. No entanto, em um ambiente distribuído típico, a sobreposição de entradas sensoriais é rara (PARASUMANNA; SRINIVASAN, 2009).

Rafal e Leszek (2007) descrevem uma arquitetura heterogênea como aquela em que os agentes podem diferir em capacidade, estrutura e funcionalidade. Com base na dinâmica do ambiente e na localização específica do agente, as ações escolhidas podem variar entre os agentes em diferentes partes do ambiente, embora mantenham a funcionalidade geral. A arquitetura heterogênea vem tornando a modelagem muito mais próxima do mundo real. Cada agente pode ter objetivos locais diferentes, que podem contradizer os objetivos de outros agentes. Um exemplo típico disso é o jogo Predator-Prey, em que tanto a presa quanto o predador são modelados como agentes, com objetivos diretamente contraditórios.

Segundo Bazzan (2009), em sistemas multiagentes, a representação do conhecimento e o processo de tomada de decisão dos agentes são aspectos cruciais. Uma abordagem amplamente utilizada é a arquitetura Beliefs-Desires-Intentions (BDI), que modela o comportamento dos agentes com base em suas crenças sobre o mundo, seus desejos (objetivos) e suas intenções (planos para atingir os objetivos). As crenças representam o conhecimento do agente sobre o ambiente e podem ser atualizadas com base em suas percepções. Os desejos refletem os estados que o agente pretende alcançar, enquanto as intenções guiam suas ações para atingir tais estados. A arquitetura BDI permite a criação de agentes flexíveis e reativos, capazes de se adaptar a ambientes dinâmicos e tomar decisões complexas de forma autônoma.

Parasumanna e Srinivasan (2010) destacam que diversas ferramentas de software têm sido desenvolvidas para facilitar a implementação de sistemas multiagentes, cada uma com suas próprias características e recursos. Entre as mais populares, destacam-se Java Agent Development Framework (JADE), NetLogo, MASON e AnyLogic. O JADE é um framework Java completo para o desenvolvimento de agentes e sistemas multiagentes em conformidade com os padrões Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA), oferecendo bibliotecas para comunicação, coordenação e gerenciamento de agentes. O NetLogo é uma plataforma de modelagem e simulação baseada em agentes, com linguagem de programação própria e interface gráfica amigável, voltada para a criação de modelos complexos em áreas como biologia, ciências sociais e física. Já o MASON é um *kit* de ferramentas de simulação multiagente escrito em Java, focado em flexibilidade e desempenho, permitindo a criação de modelos em diversas áreas, como robótica e ecologia. O AnyLogic, por sua vez, é um ambiente de simulação multimétodo que suporta modelagem baseada em agentes, eventos discretos e dinâmica de sistemas, oferecendo uma plataforma abrangente para simulação e análise de sistemas complexos. Os autores também ressaltam que a escolha da ferramenta mais adequada depende das necessidades específicas do projeto, como a linguagem de programação desejada, o tipo de modelo a ser desenvolvido e os recursos de simulação e análise disponíveis.

Referências

AUGERAUD, Michel et al. **Simulation Approach for Urban Traffic** System: a multi-agent approach. 2005.

BAZZAN, Ana L. C. Opportunities for multiagent systems and multiagent reinforcement learning in traffic control. **Autonomous Agents and Multi-Agent Systems**, v. 18, n. 3, p. 342-375, 2009.

BAZZAN Ana L.C., KLÜGL Franziska, OSSOWSKI Sascha. Agents in traffic and transportation. **Transportation Research Part C -Emerging Technologies**, Web, v. 18, n. 1, p. 69-70, 2010.

BERTINI, Roberto L. You are the traffic jam: an examination of congestion measures. **85th Annual meeting of the transportation research board**. Washington, DC, 2005.

CASTRO, A. et al. Identificação e rastreamento de veículos utilizando fluxo óptico. V.7, n.2, p.73-88, abr-jun. 2015.

DESSBESELL JUNIOR, Gilberto; FROZZA, Rejane. e MOLZ, Rolf. F. 2015. **Simulação de controle adaptativo de tráfego urbano por meio de sistema multiagentes e com base em dados reais**. REVISTA BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO APLICADA, 2015. p. 65-81.

DOURADO, Danilo A. F.; CAMPOS, Vânia B. G. **Sistemas de informação em tempo real no gerenciamento da demanda de tráfego urbano**. Rio de Janeiro, 2007.

DOWNS, Anthony. Still stuck in traffic: coping with peak-hour congestion. **Brookings Intitution Press**, Washington, DC, 2004.

KONDRO, Wayne. Big city blues: health disparities within the world’s largest urban centres. **Canadian Medical Association Journal**, Ottawa, v. 182, n. 17, p. 1838-1839, 2010.

LACERDA, Adriana B. M.; MAGNI, Cristiana; MORATA, Thais C.; MARQUES, Jair M.; ZANNIN, Paulo H. T. **Ambiente Urbano e Percepção da Poluição Sonora**, Ambiente & Sociedade – Vol. VIII nº. 2, 2005

MALECKI Krzysztof, A computer simulation of traffic flow with on-street parking and drivers’ behaviour based on cellular automata and a multi-agent system, **Journal of Computational Science**, Web, v. 28, p.32-42, 2018.

NAZARETH, Veridianne S.; SOUSA, Luiz A. P.; RIBEIRO, Paulo C. M. **Análise Comparativa entre Simuladores de Fluxo de Tráfego**. In: RIO DE TRANSPORTES, XII., 2015, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: UFRJ, 2015.

OLIVEIRA, Raquel S. **Indicadores de desempenho de tráfego utilizando microssimulação**: estudo de caso das alterações viárias na região central da cidade do Rio de Janeiro. 2014. 59 f. Projeto de Graduação (Curso de Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Blumenau.

PAIS, Flavio V. *et al*. Rian. Performance Evaluation of Urban Traffic Using Simulation: A Case Study in Brazil. **IEEE Latin America Transactions**, Web, v. 21, p. 1275-1281, 2023.

PARASUMANNA, Balaji; D. SRINIVASAN. **An introduction to multi-agent systems**, in Innovations in multi-agent systems and applications-1. Springer, 2010

PARASUMANNA, Balaji; D. SRINIVASAN. **Distributed multi-agent type-2 fuzzy architecture for urban traffic signal control**. IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Jeju, Korea (South) p. 1627-1632. 2009

PLOEG, Frederick V. D.; POELHEKKE, Steven. Globalization and the rise of mega- cities in the developing world. **Cesifo Working Paper**, n. 2208, Category Trade Policy, Munich, Germany, 2008.

RAFAL Drezewski, LESZEK Siwik, **Co-evolutionary multi-agent system with predatorprey mechanism for multi-objective optimization**. In Adaptive and Natural Computing Algorithms, LNCS, vol. 4431, p. 67-76, 2007

RANGHETTI, Mayco A. **Simulador de tráfego de automóveis em uma malha rodoviária:** versão 2.0. 2007. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciências da Computação) – Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.

SAVI, Ederson A. **Simulador de tráfego de automóveis em uma malha rodoviária:** versão 3. 2008. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciências da Computação) – Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.

TCHAPPI Igor H. et al. A Brief Review of Holonic Multi-Agent Models for Traffic and Transportation Systems. **Procedia Computer Science**, Web, v. 134, p. 137-144, 2018.

TIWARY Abhishek *et al*. Air flow and concentration fields at urban road intersections for improved understanding of personal exposure. **Environment International**, Web, v. 37, n. 5, p. 1005–1018, out. 2011.

TLIG Mohamed, BHOURI Neïla. A Multi-Agent System for Urban Traffic and Buses Regularity Control. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, Web, v. 20, p. 896-905, 2011.

WANG, Shen et al. Next Road Rerouting: A Multiagent System for Mitigating Unexpected Urban Traffic Congestion, **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, v. 17, n. 10, p. 2888-2899, 2016.