

Automação de um semáforo focado no pedestre

Wilson Americo Junior

Graduado em Engenharia Civil pela UEM
Mestrando em Engenharia Urbana pela UEM
E-mail: wilson.americojr@gmail.com

Sandro Rogerio Lautenschlager

Graduado em Engenharia Civil pela UEM,
Mestre e Doutor em Engenharia Civil pela USP
Pós-doutorado pela Technical University of Munich, Alemanha
Professor no Departamento de Engenharia Civil da UEM
E-mail: srlager@uem.br

Flávia Regina Micoanski

Graduação em Administração e Mestrado pela Unioeste
Doutora em Administração pela UEM
Docente da Unicesumar
E-mail: flaviamicoanski@gmail.com

Recebido: 07 ago. 2023

Aprovado: 29 out. 2023

Resumo: Como forma de auxiliar uma travessia segura e ágil para os pedestres, este trabalho propõe a criação de um semáforo automatizado que dê a prioridade para o pedestre nas travessias. Trata-se do desenvolvimento de um sistema de automação para o controle semaforico com enfoque na segurança e priorização das travessias de pedestres.

Palavras-chave: Semáforo. Pedestre. Automação.

Abstract: As a way to assist safe and swift pedestrian crossings, this study proposes the creation of an automated traffic signal that prioritizes pedestrians during crossings. This involves the development of an automation system for traffic signal control with a focus on safety and prioritization of pedestrian crossings.

Keywords: Traffic Signal. Pedestrian. Automation.

Resumen: Con el objetivo de facilitar un cruce seguro y eficiente para los peatones, este trabajo propone la creación de un semáforo automatizado que priorice a los peatones en los cruces. Se trata del desarrollo de un sistema de automatización para el control de señales de tráfico con enfoque en la seguridad y priorización de los pasos de peatones.

Palabras clave: Semáforo. Peatón. Automatización.

Introdução

As regras de trânsito são necessárias para uma boa convivência entre os usuários das vias. Além das leis existentes, a tecnologia vem a ser uma grande aliada no controle e fluidez do tráfego de veículos e na segurança e mobilidade dos pedestres. Encontrar alternativas no sistema de transporte devem ter como guia a diminuição de acidentes, de impactos ambientais, e o funcionamento das cidades de modo eficiente. Essas intervenções precisam garantir que as futuras gerações tenham direito a acessibilidade universal como propósito do direito a cidadania e a equidade (Silva, 2004).

Na cidade de Maringá estado do Paraná, objeto desta pesquisa, encontra-se a segunda maior frota de veículos do estado (Detran-PR, 2021). Observa-se o aumento da população mundial e da frota de veículos anualmente. Devido a isso, o trânsito se torna o foco de diversas mobilizações, principalmente pelo número elevado de acidentes e mortes (Crea-PR, 2021). Esse trabalho apresenta uma proposta de semáforo inteligente que tem como objetivo melhorar a mobilidade dos pedestres que são as segundas maiores vítimas no trânsito do estado. O objetivo desse trabalho é a criação de um semáforo inteligente que tenha o pedestre como prioridade na tomada de decisão do ciclo semafórico. E visa dar maior segurança ao pedestre, visto que este poderá arriscar uma travessia enquanto o sinal estiver aberto para os veículos. Mas em contrapartida, proporciona maior tempo de semáforo aberto para os automóveis no período em que não há pedestres na via pretendendo uma travessia.

O comportamento do pedestre no trânsito

A mobilidade é um importante fator que está presente na rotina da sociedade. As pessoas saem de suas casas e necessitam de um sistema de vias para chegar ao seu destino (PNATRANS, 2021). Na sociedade moderna, um dos grandes desafios está na organização do trânsito que combine os interesses de deslocamentos das pessoas para atividades de trabalho, lazer, urgência e emergência de forma segura para os condutores, passageiros e pedestres (Hoinatski, 2022).

As mudanças que ocorreram nas formas de transporte urbano de não motorizado para motorizado que houve no século XX, ocasionou o domínio do tráfego de veículos nas ruas urbanas. Como resultado os pedestres tornaram-se os usuários mais vulneráveis das vias (Anciaes e Jones, 2018).

Praticamente todas as pessoas transitam como pedestres no sistema viário (King et al., 2009). Os pedestres são aqueles que possuem a trajetória menos condicionada pelo ambiente entre todos os usuários da via. Visto que, um sistema que foi projetado para controlar como será a travessia desse indivíduo em uma via, baseado no modelo em que ele olha para cima a fim de aferir a cor dos semáforos, pode ocorrer de na realidade os pedestres não olharem para o semáforo por acreditar que o sistema foi projetado para controlar somente o tráfego de veículos e não sua travessia (De Lavalette et al., 2009).

A tomada de decisões sobre o quanto é seguro cruzar vias em relação às lacunas de tráfego é um exercício complexo do cotidiano, pois envolve funções perceptivas, sensoriais, cognitivas e executivas (Oxley et al., 2005). É importante o planejamento desses ambientes, justamente devido à complexidade da decisão humana, o que dificulta e relativamente atrasa os desenvolvimentos de pesquisa dedicados a esse tipo de transporte (Zacharias, 2001). Para tanto, estudos em microescalas laboratoriais sobre comportamento exploratório em distritos pedestres são realizados para que quando somados, possam trazer explicações abrangentes o suficiente para a compreensão da ação do indivíduo nesse meio de transporte (Zacharias, 2001).

No que tange a segurança, a tendência na maioria das lesões de pedestres ocorre quando estes atravessam as faixas de tráfego, contudo, os regulamentos de segurança impõem poucas restrições aos pedestres. No oposto, os motoristas precisam seguir rotas determinadas, enquanto os pedestres são livres para escolher o seu percurso (De Lavalette et al., 2009).

O sistema de regras das estradas compreende todos os preceitos relativos ao comportamento do usuário. Mas para os pedestres essas regras não são muito extensas, os pedestres são instruídos a andar na calçada, a atravessar nas faixas de pedestre e respeitar os sinais de trânsito. Ou seja, as regras para eles envolvem a utilização do local terminado, de uma passagem, com um período de tempo. Mas é possível observar que essas regras regularmente não são seguidas. Mostrando as diferenças entre os comportamentos previstos pelos responsáveis da segurança viária e o comportamento real observado (De Lavalette et al., 2009).

King et al. (2009) concordam que em comparação com a condução a marcha está sujeita a uma menor quantidade de regras que se limitam em grande parte à travessia ou circulação nas vias e existe um incumprimento generalizado dessas regras. O movimento do pedestre é mais complexo do que o fluxo de veículos, pois as pessoas são mais inteligentes e flexíveis que os carros. Inteligentes pois podem escolher um percurso ótimo de acordo com o local (Jian et al., 2005). E mais flexíveis porque não se limitam às pistas como os veículos (Jian et al., 2005; Papadimitriou et al., 2009).

A pesquisa de Anciaes e Jones (2018), sobre as preferências dos pedestres mostrou que eles equilibram segurança e conveniência ao escolher uma instalação para fazer a travessia; que preferem caminhar 2,4 e 5,3 minutos para evitar passarelas e passagens subterrâneas. E ainda que mulheres e idosos possuem uma aversão mais forte as passarelas e passagens subterrâneas. Já na pesquisa de Catillo et al. (2015), os resultados mostraram que a maior distância até uma ponte para pedestre ou uma passarela sinaliza aumento da probabilidade da travessia direta.

Cidade inteligentes

Em 2014, 54% da população do planeta residia em áreas urbanas, a previsão é que em 2050 esse número chegue a 66%. Em 2017 já havia 28 megacidades em todo mundo, as projeções para 2030 são para mais de 41 megacidades (Cassandras, 2017).

As pesquisas a respeito da estrutura econômica e espacial das cidades estão cada vez mais incluindo fatores de desenvolvimento como a tecnologia (Nascimento et al., 2019). Visto que, as perspectivas globais a respeito da aglomeração urbana são desafios importantes para os gestores públicos (Weiss, et al., 2015; Cassandras, 2017) a grande concentração de pessoas nas metrópoles também é um desafio imposto a mobilidade humana (Lima; Fontgalland, 2022).

As infraestruturas urbanas são apontadas como sistemas sociotécnicos caros, complicados e demorados para serem elaborados, muitas vezes apresentando ciclos de vida muito longos até sua execução e avaliação final (Razaghi; Finger, 2018). No entanto, ainda que leve tempo é mais indicado um planejamento de operação prévio ao invés de mudanças irremediáveis nas cidades para resolver problemas pontuais os quais, geralmente, são a “ponta do iceberg”. A análise antecipada e um preparo de ação na governança das cidades podem gerar imensas economias de custos, principalmente de

escala; aproveitamento de oportunidades; melhor uso dos recursos; e também benefícios inestimáveis ao bem-estar e crescimento das sociedades (Razaghi; Finger, 2018).

Em consonância, Nascimento et al., (2019) argumentam que esses ideais de desenvolvimento propõem a economia de recursos, com planejamento espacial e rede com vista a evitar o aumento de custos derivados do aumento das cidades. As cidades inteligentes estão cada vez mais empenhadas em economizar dinheiro e qualquer tipo de recurso, como tempo e energia (Nascimento et al., 2019).

É importante destacar que o crescimento não planejado da zona urbana não é apenas um risco para o fluxo cotidiano dos que lá habitam. É também uma ameaça à segurança desses usuários, como ficam evidenciadas nos baixos índices socioeconômicos das cidades, especialmente as maiores e menos planejadas (Razaghi; Finger, 2018). Através de tecnologias disruptivas habilitadas por tecnologias da área da informação e comunicação, as famosas TICs, as infraestruturas urbanas estão passando por mudanças drásticas e em uma velocidade diferente da tradicional (Razaghi; Finger, 2018). Acredita-se, inclusive, que o uso integrado das tecnologias smart será o futuro dos meios de prestação de serviços, como nos projetos de mobilidade urbana inteligente, rede de energia inteligente, etc (Razaghi; Finger, 2018).

Para Cassandras (2017), as cidades estão em busca de um futuro mais sustentável, confortável e economicamente viável para seus habitantes, tornando-se então “inteligentes”. Um protótipo de cidade inteligente é um ambiente urbano com geração de inovadores serviços para distribuição de energia, saúde, conservação ambiental, negócios, comércio, atividades sociais, resposta a emergências e transporte (Cassandras, 2017).

Com a tecnologia da informação e comunicação, as pessoas puderam reduzir e/ou resolver alguns desses problemas de urbanização. As cidades se tornaram mais digitais e baseadas em informações, havendo ainda mudanças no ambiente de vida dos cidadãos e no modo de governo das cidades. Sendo que a economia, o transporte, a cultura, o entretenimento e demais aspectos das cidades estão intimamente ligados à tecnologia da informação (Yin et al., 2015). A digitalização das informações de uma cidade não apenas tornou a vida da população mais conectada, mas também estabeleceu uma infraestrutura e conglomerado de base de dados que permitem o avanço das cidades modernas (Yin et al., 2015).

A mobilidade inteligente é apresentada como uma das mais importantes alternativas para que se tenha sistemas de transporte mais sustentáveis. A sua

característica principal é a conectividade, devido a conectividade big data os usuários podem compartilhar informações de tráfego em tempo real para outros usuários (como trânsito, acidentes) e os gestores públicos podem fazer um gerenciamento sincronizado (Pinna et al., 2017).

Para o funcionamento de uma cidade inteligente é necessária uma infraestrutura cyber física combinada com plataformas de software e aspectos rigorosos de segurança, mobilidade, privacidade e processamento de dados em grandes quantidades (Cassandras, 2017). Os sistemas de mobilidade tornaram-se cada vez mais digitais e incorporadas no ambiente físico (Kandt; Batty, 2021). As pessoas precisam acessar variados serviços urbanos, vários são os exemplos de cidades que mostraram que as melhorias na acessibilidade não são alcançadas utilizando o tráfego motorizado, mas sim optando por alternativas de transporte mais sustentáveis. A mobilidade inteligente apresenta diversas vantagens, como a redução de congestionamentos e melhoraria na segurança (Pinna et al., 2017).

As cidades inteligentes acabam abrindo caminho para a coleta dos chamados “big datas”, trata-se de bancos de dados ou redes de sensores criados de forma simples, eficiente e barata que coletam informações de diversas fontes para testar e criar simulações sobre aspectos comportamentais dos cidadãos e processos urbanos (Dembski, 2020).

Semáforos inteligentes

A eficiência nos sistemas de transporte, especialmente nos fatores que integram a sua infraestrutura como vias, sinalização e planos de sinais eletrônicos, são fundamentais para uma boa mobilidade urbana. Externalidades como congestionamento do tráfego, acidentes de trânsito e emissões de gases também podem ser reduzidos frente à adequadas políticas e estratégias de gestão de sistemas de transporte. Uma das maneiras pelo qual se podem obter tais melhorias é a implementação de uma ótima transição entre os planos de sinais, tendo em vista um bom design temporal, seguindo modelagem matemática apropriada (Peñabaena-Niebles et al., 2019).

Num contexto de rápido crescimento econômico e aumento do transporte motorizado, as externalidades aumentam em mesma proporção, tendo o pedestre como vítima mais vulnerável. Para Peñabaena-Niebles et al., (2019, p. 2) “é necessário um

sistema de transporte flexível e robusto capaz de se adaptar às necessidades da sociedade e do ambiente e garantir uma mobilidade eficiente, econômica e segura”. Nesse âmbito, melhorias na sincronização e ativação dos semáforos podem gerar benefícios como redução no consumo de combustível, emissão de gases e atrasos no tráfego (Peñabaena-Niebles et al., 2019).

É importante destacar que, na maioria das situações, os semáforos utilizam tempos fixos como método de funcionamento, o que não é recomendado para vias com grandes alterações de fluxo (Silva, 2018). Porém, essa não é a realidade de grande parte das vias, isto é, existem diferentes variáveis que influenciam no andamento dos veículos em um determinado local, logo, o semáforo de tempo fixo vem perdendo cada vez mais a sua aplicabilidade (Silva, 2018). Assim, tem-se a partir dessa limitação a criação de semáforos de temporização adaptável, também denominados de semáforos inteligentes (Silva, 2018).

De acordo com Silva, Aquino e Meira Jr (2015, p. 1) “O semáforo é o dispositivo responsável por garantir o direito de passagem ordenando o fluxo de veículos com o objetivo de evitar acidentes”. Dentre a aplicação inteligente dos semáforos têm-se algumas abordagens. Uma delas é a sincronização destes em vias arteriais para que se tenha maior fluidez no tráfego (Peñabaena-Niebles et al., 2019). A minimização das paradas e o consequente movimento contínuo facilita o andamento dos veículos. Essa estratégia é conhecida também como progressão, segundo os autores. Há também outra estratégia que pode ser utilizada em conjunto ou separadamente à citada, que é a de modo de operação de acordo com o período do dia (Peñabaena-Niebles et al., 2019). Essa estratégia inteligente de otimização da sinalização envolve a escolha de um plano de tempos semaforicos a depender do momento do dia e o que ele representa em termos de fluxo.

Outras maneiras inteligentes de utilizar os semáforos envolvem a determinação do tempo verde com base nos dados dos sensores do detector veicular em suas aproximações, bem como ativação das alterações dos tempos de maneira in loco, isto é, por um controlador, ou sistemática, com funcionamento acionado automaticamente por um dispositivo central (Oliveira et al., 2019). Todos esses meios de gestão dos semáforos podem gerar os benefícios supracitados de minimização das paradas, poluição, atrasos, etc. Porém, problemas nessa atividade podem incorrer em interrupções na progressão do tráfego, o que leva a maiores níveis de congestionamento

e maiores chances de acidentes devido à má logística dos veículos (Peñabaena-Niebles et al., 2019).

As modalidades que envolvem o uso de sensores geralmente fazem uso dos magnéticos, infravermelhos e/ou câmeras digitais (Oliveira, et al., 2019). Ademais, há a opção do semáforo sem fio o qual também facilita o controle e sincronia do tráfego, segundo os autores. Considerando a crescente evolução dos veículos inteligentes, a modalidade sem fio dos semáforos é uma opção com grande potencial, pois permite a comunicação do sistema com veículos desse ramo, gerando assim benefícios como coleta de dados sobre condições da estrada, fluxo e demais sincronização de dados (Oliveira et al., 2019).

Além da utilização de tecnologias associando semáforos e veículos, há também a relação entre os dispositivos e os pedestres. Há muitas vezes semáforos dedicados exclusivamente para quem utiliza o transporte a pé. Com intuito de garantir maior segurança ao pedestre há o arranjo alternativo do sinal acionado pelo pedestre, geralmente localizado na calçada, onde estes ativam a parada do semáforo, permitindo a sua passagem (Czajewska et al., 2013). Segundo os autores, o problema é que muitas vezes o pedestre ignora essa opção e atravessa fora do seu momento indicado para uso da via. Essa é inclusive uma das principais dificuldades para a gestão da segurança do pedestre, isto é, a limitação quanto ao entendimento de seu comportamento no trânsito, como mencionado anteriormente.

Materiais e métodos

Os seguintes materiais foram utilizados na montagem do protótipo:

- I) Placa de programação tipo Arduino;
- II) Sensor de presença mini PIR;
- III) Fios conectores (Jumpers);
- IV) Impressora 3D (modelo Dreamer fla ford nx);
- V) Filamento PLA;
- VI) Equipamento de solda de componentes eletrônicos;
- VII) Simulador de arduino Tinkercad;
- VIII) Software de programação livre para arduino;

Automação de um semáforo focado no pedestre

Para a elaboração do protótipo do semáforo, foi utilizado a plataforma de simulação Tinkercad®, a plataforma permite a inserção de dispositivos virtuais como placa de programa do tipo Arduino, sensores de presença, lâmpadas de led, placa de ensaio e uma gama de aparatos que permitem simulações de diversos tipos de componentes elétricos e eletrônicos. A plataforma permite a programação em linguagem C++ ou Scratch (programação em bloco) permitindo ao usuário utilizar o meio que considerar mais conveniente. Optou-se por utilizar a linguagem C++ por considerar a linguagem mais adequada para alteração da programação semafórica.

Com os materiais citados, utilizando-se um modelo como referência, foi construído o protótipo conforme a figura a seguir:

Figura 1 – Modelo e protótipo de um semáforo de pedestre com sensor de presença



Fonte: Os autores (2023).

Foi considerado para a instalação do sensor, a situação de um semáforo de pedestres que seja alocado em uma região de conflito apenas entre veículo e pedestre, ou seja, uma via em que o semáforo dos veículos só esteja conflitante com o semáforo de pedestre, como por exemplo o local mostrado na imagem abaixo:

Figura 2 - Semáforo de pedestre com acionamento mecânico em conflito com semáforo para veículos localizado na cidade de Maringá (PR).



Fonte: Google Earth (2022)

Assim como grande parte das tomadas de decisão dentro da engenharia de tráfego, as particularidades do ambiente e perfil da população local devem ser sempre levadas em consideração, para uma adequada configuração daquilo que se espera. Quando falamos em programação semafórica, talvez o fator principal seja a observação de pessoas com mobilidade reduzida. O local utilizado como referência para análise é situado no principal ponto turístico da cidade de Maringá (PR), noroeste do estado, com aproximadamente 436.472 habitantes (IBGE, 2021). O local em questão é a Catedral de Maringá, principal igreja católica da região, onde foi possível observar uma parcela significativa de idosos, principalmente nos horários em que ocorrem as missas matutinas. Foi possível observar também, que os veículos não imprimem uma velocidade elevada no local e que há um certo respeito pela utilização da faixa de pedestres mesmo fora do semáforo (muito provavelmente devido à uma fiscalização recorrente por parte dos agentes da Secretaria de Mobilidade Urbana da cidade).

Dentre as características geométricas da via, existem 6 faixas de rolagem em um fluxo bidirecional, sendo 1 faixa em cada sentido destinada a estacionamento público, sendo cada um dos sentidos possuindo largura total de aproximadamente 7,8 metros. Entre as faixas de rolagem há um canteiro central de largura de aproximadamente 8,7 metros. O local de análise pode ser observado na imagem a seguir:

Automação de um semáforo focado no pedestre

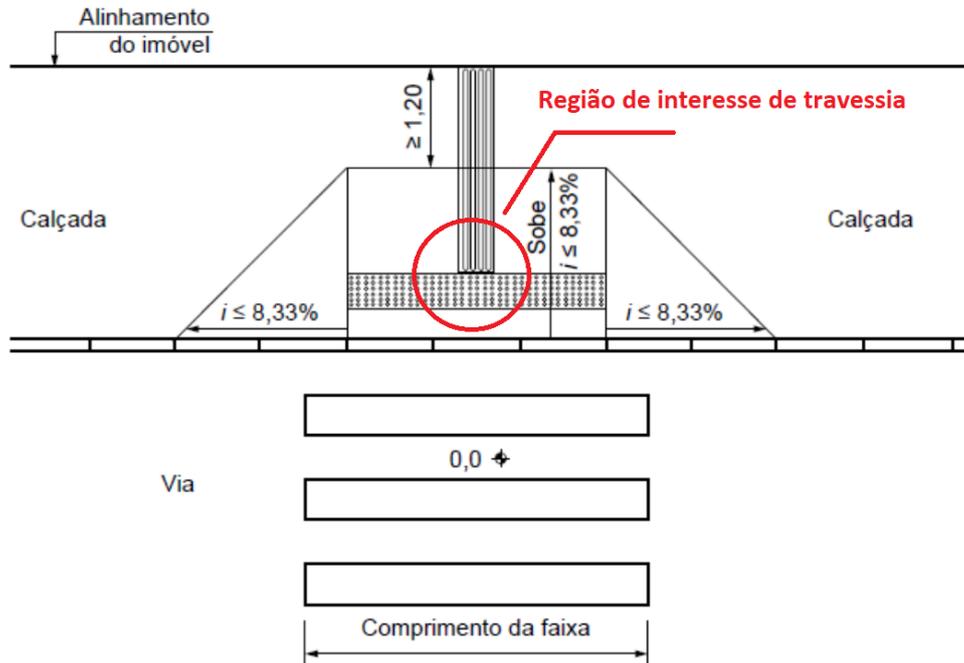
Figura 3 – Avenida Tiradantes em frente à praça da Catedral de Maringá-PR.



Fonte: Portal GeoMaringá (2023).

Foi observado na calçada uma certa predilecência dos pedestres para realizar a travessia, de forma que a maior parte deles (aproximadamente 63%) estavam na região alinhada com o centro da faixa de pedestres, em um raio observado de aproximadamente 1 metro, conforme esquematizado na figura a seguir:

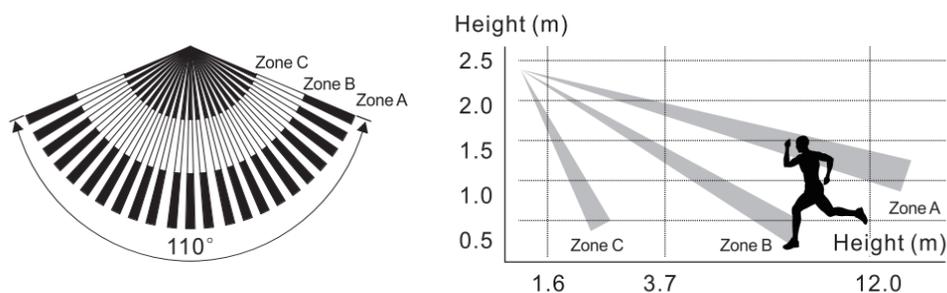
Figura 4 – Representação esquemática da região de interesse de travessia do pedestre da Avenida Tiradentes em frente a praça da catedral de Maringá-PR.



Fonte: Adaptado Detran-MT (2019).

Com a região de interesse de travessia dos pedestres identificado foi possível estipular um provável local para posicionamento do sensor, de tal modo que ele abranja esta região, sendo acionado toda vez que for detectada a presença de pedestre. Uma das preocupações ao realizar a automação com a utilização do sensor de movimento, seria a de que o sensor fosse acionado por pedestres que não tivessem interesse em realizar a travessia, porém, como forma de sanar ou ao menos minimizar este problema, sugere-se o posicionamento do sensor entre faixas de abrangências conforme imagem no seu próprio manual, mostrada na figura abaixo:

Figura 5 - Área de abrangência do sensor de movimento



Fonte: Manual Teldus (2023).

O posicionamento julgado como mais adequado para instalação do sensor, foi entre as faixas de abrangência “C” e “B”, com uma atuação de aproximadamente 4,5 metros de diâmetro, posicionada a uma altura de 2,2 metros. Escolheu-se esta configuração pois seria a posição que há a abrangência necessária para cobrir uma área adequada com as dimensões da faixa de pedestre, que é de aproximadamente 4 metros, posicionando-se com uma angulação de aproximadamente 52° em relação ao suporte que será fixado o sensor. Com isso, é possível obter um sensor que atinja uma abrangência necessária para um acionamento satisfatório.

Resultados

Com os equipamentos mencionados no tópico anterior, foi possível criar o protótipo mostrado na figura 5, o protótipo foi testado de tal modo que ao identificar a presença humana, pudesse realizar a troca do ciclo semafórico, priorizando então a passagem do pedestre, fechando o semáforo para os veículos. A programação semafórica utilizada foi baseada com o ciclo semafórico por acionamento mecânico em que havia o conflito apenas entre pedestres e veículos. O protótipo se demonstrou com maior eficiência no período noturno onde a detecção de movimento, representando o pedestre foi significativamente maior (aproximadamente 91% no período noturno e 76% no período diurno). Para o teste de detecção de pedestres o protótipo foi posicionado em um local distanciado de 1 metro em que foi realizada a passagem de uma pessoa simulando a travessia de um pedestre.

Considerações finais

Esta pesquisa teve como objetivo inicial desenvolver um protótipo de semáforo inteligente com prioridade para travessia do pedestre. Porém, acabou-se optando por realizar apenas a automação do mesmo, uma vez que para atribuir a característica de inteligência ao dispositivo seria necessário conectá-lo à um banco de dados que fizesse a comunicação entre um conjunto de semáforos em que houvesse uma reprogramação sincronizada entre os tempos semafóricos participantes dessa rede de semáforos.

Levou-se em consideração que o dispositivo será instalado no semáforo que fica em frente à Catedral de Maringá. Dessa forma, foi necessário verificar as peculiaridades

do local, como movimentação de pedestres, fluxo de veículos e recursos estruturais. Ao contrário do que é estipulado pelo Código Brasileiro de Trânsito, o pedestre nem sempre encontra locais adequados que supram suas necessidades para a realização de um deslocamento seguro e rápido, sendo muitas vezes negligenciados no planejamento urbano que acaba por vezes priorizando o transporte motorizado individual. Não é raro por exemplo observar programações semáforicas em que o tempo disponibilizado para a travessia do pedestre não se mostra satisfatória, o que faz com que o pedestre tenha seu tempo de viagem prolongado ou ainda faz com que se arrisque atravessando a faixa de pedestre de modo conflitante com os veículos.

As travessias dos pedestres são elementos importantes no sistema de circulação urbana. As facilidades para os pedestres precisam ser projetadas em locais que levem em consideração fatores quantitativos e qualitativos (Margon e Taco, 2014). O protótipo apresentado também abre caminho para a discussão sobre a implementação de tecnologias mais avançadas no contexto brasileiro. Embora possa não ser considerado vanguardista em termos globais, essa abordagem automatizada demonstra um passo importante para melhorar a eficiência e a segurança do sistema de semáforos em nosso país.

No geral, o trabalho contribui para a busca por soluções inovadoras e práticas que possam ser aplicadas no contexto urbano, promovendo uma maior fluidez do tráfego, segurança para os pedestres e uma mobilidade mais sustentável. Através da continuidade dessas pesquisas e do desenvolvimento de novas tecnologias, será possível enfrentar os desafios da mobilidade urbana de forma mais eficaz e melhorar a qualidade de vida nas cidades brasileiras.

Referências

ANCIAES, P. R.; JONES, P. Estimating preferences for different types of pedestrian crossing facilities. **Transportation research part F: traffic psychology and behaviour**, v. 52, p. 222-237, 2018.

CANTILLO, V.; ARELLANA, J.; ROLONG, M. Modelling pedestrian crossing behaviour in urban roads: A latent variable approach. **Transportation research part F: traffic psychology and behaviour**, v. 32, p. 56-67, 2015.

CREA-PR. **Maio amarelo**: Crea-PR reforça mensagem de conscientização no trânsito. 2021. Disponível em: <<https://www.crea-pr.org.br/ws/maio-amarelo-crea-pr-reforca-mensagem-de-conscientizacao-no-transito/>>. Acesso em: 19 out. 2022.

- CZAJEWSKI^a, W.; DĄBKOWSKI^b, P.; OLSZEWS, P. Innovative solutions for improving safety at pedestrian crossings. **Archives of Transport System Telematics**, vol. 2, issue 6, p. 14-20, 2013.
- DE LAVALETTE, B. C. et al. Pedestrian crossing decision-making: a situational and behavioral approach. **Safety science**, v. 47, n. 9, p. 1248-1253, 2009.
- DEMBSKI, F. et al. Urban digital twins for smart cities and citizens: the case study of Herrenberg, Germany. **Sustainability**, v. 12, n. 6, p. 2307, 2020.
- DETRAN-PR. **Anuário de trânsito de 2021**. Anuário estatístico 2021. Disponível em: <https://www.detran.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2022-08/anuario_detran_pr_2021.pdf>. Acesso em 10 out. 2022.
- HOINATSKI, C. A Polícia Militar do Paraná como componente do sistema nacional de trânsito na aplicação do plano nacional de redução de mortes e lesões no trânsito. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 2, p. 13564-13580, 2022.
- JIAN, L.; LIZHONG, Y.; DAOLIANG, Z. Simulation of bi-direction pedestrian movement in corridor. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 354, p. 619-628, 2005.
- KANDT, J.; BATTY, M.. Smart cities, big data and urban policy: towards urban analytics for the long run. **Cities**, v. 109, p. 102992, 2021
- KING, M. J.; SOOLE, D.; GHAFOURIAN, A. Illegal pedestrian crossing at signalised intersections: incidence and relative risk. **Accident Analysis & Prevention**, v. 41, n. 3, p. 485-490, 2009.
- MARGON, P. V.; TACO, P. W. G. Caracterização do comportamento de pedestres e motoristas durante a travessia de vias em faixa não semaforizada. In: Anais 18^o PANAM-Congresso Panamericano de Engenharia de Trânsito, Transporte e Logística. Universidade de Cantabria–Santander, Espanha. 2014.
- NASCIMENTO, J. B.; SOUZA, C.B.; SERRALVO, F.A. A systematic review of smart cities and the internet of things as a research topic. **Cadernos EBAPE.BR** [online], v. 17, n. 4, 2019.
- OLIVEIRA, L. F. P.; MANERA, L. T.; LUZ, P. D. G. Smart Traffic Light Controller System. In: **Sixth International Conference on Internet of Things: Systems, Management and Security (IOTSMS)**, p. 155-160, 2019.
- PINNA, F.; MASALA, F.; GARAU, C. Urban policies and mobility trends in Italian smart cities. **Sustainability**, v. 9, n. 4, p. 494, 2017.
- PEÑABAENA-NIEBLES, R.; CANTILLO, V.; LUIS MOURA, J. The positive impacts of designing transition between traffic signal plans Considering social cost. **Transport Policy**, 2019.
- RAZAGHI, M.; FINGER, M. Smart Governance for Smart Cities. **Proceedings of the IEEE**, 106(4), 680–689, 2018.
- SILVA, F. N. Políticas Urbanas para uma mobilidade sustentável: do diagnóstico às propostas. In: **GeoInova** 10, 2004.
- ZACHARIAS, J. Pedestrian Behavior Pedestrian Behavior and Perception in Urban Walking Environments. **Journal of Planning Literature**, 16(1), 3–18, 2001.