

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE SEGURANÇA PARA PREVENÇÃO DE COLISÕES EM VEÍCULOS DE CARGA

SAFETY SYSTEM TO PREVENT TRUCK COLLISIONS

Thainara Martins Porcidonio^{1, i}
Caique Zaneti Kirilo^{2, ii}
Jéssica Franzon Cruz do Espírito Santo^{3, iii}

RESUMO

O avanço das tecnologias ao longo das últimas décadas tem promovido significativas melhorias no setor automobilístico. Um exemplo notável é o desenvolvimento do cinto de segurança de três pontos, cuja implementação, segundo estimativas da Volvo, já foi responsável por salvar aproximadamente um milhão de vidas, além de reduzir em cerca de 45% o risco de óbito em acidentes. Com base nesse mesmo princípio de ampliar a segurança viária, especialmente no transporte de carga, foi concebido um sistema composto por sensores e mecanismos de controle capazes de alertar o condutor quanto à iminência de colisões e, em situações críticas, acionar automaticamente os freios. Assim, o presente estudo tem como objetivo apresentar um projeto voltado à prevenção de acidentes envolvendo caminhões em áreas urbanas, particularmente em interações com viadutos, passarelas e túneis, dada a elevada incidência desse tipo de ocorrência.

Palavras-chave: Segurança; Caminhões; Vias; Dispositivos; Automatização.

ABSTRACT

The advancement of technologies over the past decades has led to significant improvements in the automotive sector. A remarkable example is the development of the three-point seat belt, whose implementation, according to Volvo's estimates, has already saved approximately one million lives and reduced the risk of fatality in accidents by about 45%. Based on the same principle of enhancing road safety, particularly in freight transportation, a system was conceived consisting of sensors and control mechanisms capable of alerting the driver to the imminence of collisions and, in critical situations, automatically activating the brakes. Therefore, the present study aims to introduce a project focused on preventing accidents involving trucks in urban areas, particularly in interactions with overpasses, pedestrian bridges, and tunnels, given the high incidence of such occurrences.

Keywords: Safety, Trucks; Roadways; Devices; Automation.

¹ Possui Técnico e Tecnólogo em Mecatrônica Industrial; É Pós-graduanda em Inteligência Artificial (SENAI-SP). E-mail: thainara.porcidonio@gmail.com

² Doutorando e Docente no curso de graduação na Faculdade SENAI-SP de Ciência de Dados, E-mail: caique.zaneti@sp.senai.br

³ Mestranda e Docente no curso de graduação na Faculdade SENAI-SP de Ciência de Dados, E-mail: jessica.santo@sp.senai.br

1 INTRODUÇÃO

Este estudo propõe a construção de um protótipo demonstrativo com finalidade experimental, dada a inviabilidade prática, econômica e de segurança de realizar todos os ensaios em veículo de porte real. A adoção de modelo em escala ou bancada técnica permite avaliar os princípios de funcionamento, comparar concepções e projetar aplicações práticas futuras, ao mesmo tempo em que se minimizam riscos operacionais. Pesquisas recentes em veículos autônomos e conectados confirmam a utilidade de ambientes controlados e simulações para testar sistemas de frenagem e controle de emergência antes de sua adoção em larga escala (por exemplo, estudos de sim-to-real, twins digitais e testes de integração de controladores em caminhões reais ou em pistas de teste).

Na revisão técnica inicial, concentrou-se o exame dos sistemas de frenagem convencionais e de tecnologias avançadas, tais como ABS (Anti-lock Braking System) e EBS (Electronic Braking System), dado seu papel central na melhoria dos tempos de resposta e na estabilidade do veículo em frenagens críticas. Com base nessa fundamentação, foi projetado um dispositivo capaz de, em situações emergenciais, emitir um sinal para uma unidade de controle central que, por meio de atuadores hidráulicos, pneumáticos ou elétricos, aciona o sistema de freio sem depender exclusivamente do tempo de reação do motorista. Tal arquitetura se justifica tanto pelos desafios operacionais observados no transporte rodoviário pesado quanto pelas exigências regulatórias e de segurança em sistemas avançados de assistência ao condutor e condução automatizada.

1.1 Problema de pesquisa

Acidentes envolvendo caminhões já são por si só um problema de gravidade importante, em áreas urbanas o risco a vida se eleva devido a probabilidade do número de pessoas envolvidas ser maior, uma parcela significativa desses episódios está associada à invasão de áreas com restrição de altura, como viadutos, passarelas e terminais de transporte.

Adicionalmente, fatores relacionados às condições de trabalho dos motoristas, como fadiga, sonolência e o consumo de substâncias estimulantes ou alcoólicas, ampliam a probabilidade de acidentes. Embora existam no mercado soluções de detecção de altura, ainda não há tecnologias amplamente disponíveis que integrem sistemas de comunicação e acionamento automático dos freios, independentemente da reação do condutor, o que evidencia a necessidade de pesquisas e inovações voltadas à prevenção desses incidentes.

1.2 Objetivo(s)

O presente estudo tem como objetivo desenvolver e avaliar um sistema de segurança veicular voltado à prevenção de acidentes envolvendo caminhões em áreas urbanas, especialmente em locais com restrição de altura, como viadutos, passarelas e túneis. O sistema proposto integra sensores e mecanismos de controle capazes de detectar riscos de colisão e, em situações críticas, realizar o acionamento automático dos freios, reduzindo a dependência exclusiva da reação do condutor e contribuindo para a mitigação de impactos humanos e materiais.

1.3 Justificativa

Apesar da existência de sistemas de detecção de altura no mercado, verifica-se a ausência de soluções integradas que, além de alertar o condutor, atuem de forma autônoma no acionamento dos freios, minimizando a dependência exclusiva da resposta humana, sendo assim, a relevância deste estudo fundamenta-se na necessidade de desenvolver uma tecnologia inovadora que, ao promover maior segurança viária, contribua para a redução de acidentes.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sistemas Avançados de Assistência ao Condutor (ADAS) em Veículos Pesados

Os Sistemas Avançados de Assistência ao Condutor (ADAS) configuram-se como um marco na evolução da segurança veicular, sobretudo no contexto dos veículos comerciais (XU, YE e WANG, 2021). Embora tenham surgido com funcionalidades relativamente simples, como o controle de cruzeiro adaptativo (ACC), tais sistemas passaram a incorporar recursos de maior criticidade, entre eles a Frenagem Autônoma de Emergência (AEBS) e o Alerta de Saída de Faixa (LDW) (GABRIELLI et al., 2024). No caso dos caminhões, a adoção dessas tecnologias apresenta desafios adicionais em razão da elevada massa e inércia desses veículos, o que demanda algoritmos preditivos mais sofisticados e atuadores de frenagem de alta eficiência, como os sistemas EBS, para assegurar desacelerações estáveis e seguras (WU, CAO e DU, 2022).

2.2 Tecnologias de Sensores para Detecção de Obstáculos

A eficiência de sistemas anticollisão está diretamente vinculada à qualidade e à redundância dos sensores empregados. Entre as tecnologias disponíveis, os sensores ultrassônicos destacam-se pelo baixo custo e pela confiabilidade em curtas distâncias, características que os tornam particularmente adequados para manobras de baixa velocidade e para a detecção de obstáculos em altura, como viadutos e túneis (KLAUTAU; GONZÁLEZ-PRELCIC; HEATH, 2019).

Em cenários que envolvem velocidades mais elevadas, recursos como o radar de ondas milimétricas (mmWave) e o LiDAR (Light Detection and Ranging) apresentam vantagens relevantes. O radar mostra-se resistente a condições ambientais adversas, como chuva intensa e neblina, enquanto o LiDAR possibilita a geração de nuvens de pontos tridimensionais de alta resolução, favorecendo a identificação e classificação precisas de objetos (YAN; ROBERTS, 2025).

A integração de múltiplos sensores, prática conhecida como sensor fusion, tem ganhado espaço na indústria por combinar as potencialidades de diferentes tecnologias, resultando em uma percepção ambiental mais robusta e confiável para a tomada de decisão do sistema de controle.

2.3 Desafios da Mobilidade Urbana para Veículos de Carga

A interação entre caminhões e a infraestrutura urbana apresenta desafios únicos que sistemas de segurança passiva, como a sinalização, nem sempre resolvem. A restrição de altura em viadutos, túneis e passarelas é uma causa recorrente de

acidentes, frequentemente associada à desatenção do condutor ou à falta de familiaridade com a rota (MEDVEDIEV et al., 2024). Além dos danos materiais, esses incidentes geram congestionamentos significativos e colocam em risco a segurança de outros usuários da via. Fatores humanos, como a fadiga e a sonolência do motorista, potencializam esses riscos, diminuindo o tempo de reação em situações críticas. Diante desse cenário, tecnologias de automação que intervêm independentemente da ação do condutor, como o sistema proposto, surgem como uma solução proativa para aumentar a resiliência da segurança viária em ambientes urbanos complexos (STATENIN; VIZGALIN; EPIFANOV, 2024).

3 METODOLOGIA

Na etapa inicial do projeto, foi realizada uma investigação aprofundada sobre aspectos estruturais, com ênfase no funcionamento dos sistemas de frenagem em veículos pesados.

Esse estudo permitiu compreender tanto os freios convencionais quanto tecnologias mais avançadas, como o ABS (Anti-lock Braking System), responsável por evitar o travamento das rodas em frenagens bruscas, diminuindo a probabilidade de acidentes e a gravidade de seus impactos.

Também foi analisado o EBS (Electronic Braking System), sistema eletrônico que, embora semelhante ao ABS em seu propósito, se destaca pela resposta mais rápida e precisa, característica que amplia significativamente a segurança operacional em caminhões.

Ao decorrer da pesquisa, sentiu-se a necessidade de dados mais específicos sobre colisões de caminhões. Em função disso, em julho de 2022, criou-se um contato com a CET (Companhia de Engenharia de Tráfego) por meio de um pedido na seção do sistema e-SIC (Sistema Eletrônico de Informação ao Cidadão) da Prefeitura de São Paulo, e foi obtido o retorno com o levantamento das ocorrências de 2017 a 2022. Todos os dados citados ao longo deste documento com relação à invasão de áreas restritas, foram baseados na tabela abaixo.

Tabela 1 - Ocorrências de excesso de altura registradas

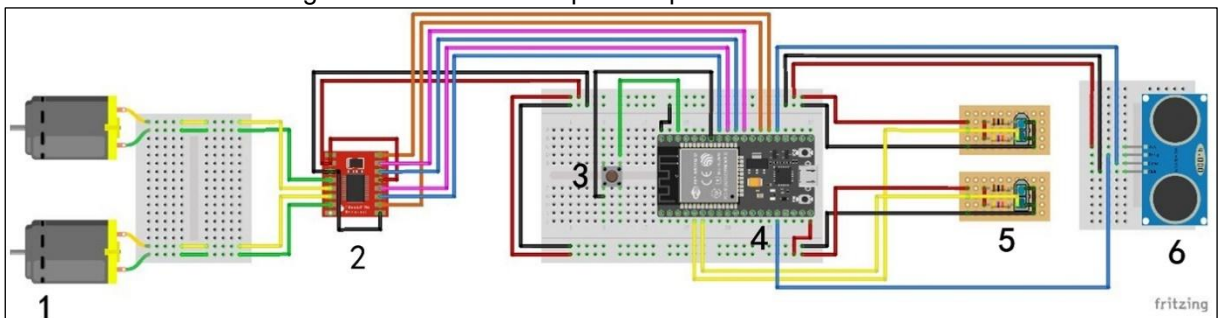
	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Janeiro	15	18	15	30	21	48
Fevereiro	12	21	19	35	26	21
Março	8	26	14	24	40	59
Abril	22	16	26	19	20	39
Maiο	12	14	19	18	27	24
Junho	21	23	18	32	20	47
Julho	26	19	19	41	40	
Agosto	23	27	23	35	47	
Setembro	25	23	22	26	43	
Outubro	22	35	24	48	31	
Novembro	26	37	21	29	56	
Dezembro	30	29	19	27	70	
Total	242	288	239	364	441	238

Fonte: CET (2022)

A concepção da funcionalidade de frenagem emergencial, um pilar deste projeto, exigiu uma análise aprofundada da dinâmica de veículos pesados. O parâmetro de projeto fundamental foi a distância de frenagem, que a literatura define como "o espaço percorrido pelo veículo, desde que se pisa no freio até a parada total do veículo". Este valor não é estático; ele é diretamente influenciado pela

velocidade inicial ao quadrado e pela massa do veículo, tornando a frenagem de caminhões um desafio particular. Para estabelecer os cenários de atuação do sistema, foram adotados os limites de velocidade estipulados pelo Código de Trânsito Brasileiro (CTB) como parâmetros operacionais máximos: 90 km/h em rodovias e 60 km/h em estradas. Esses dados foram cruciais para definir os requisitos de detecção do sensor e a lógica de acionamento do microcontrolador. A tradução desses requisitos teóricos em um arranjo físico resultou no circuito eletrônico, que foi projetado e documentado utilizando o software Fritzing, escolhido por sua ampla biblioteca de componentes e clareza para a prototipagem.

Figura 1 - Circuito do dispositivo presente no caminhão



Fonte: Autores

A arquitetura operacional do protótipo é orquestrada pelo microcontrolador ESP32 (4), que atua como a unidade central de processamento. Ele recebe e processa em tempo real os sinais de múltiplos sensores para controlar os atuadores. O sensor ultrassônico (6) é o principal componente do sistema de segurança, realizando o monitoramento contínuo da distância frontal enquanto os motores (1) estão em operação. Em paralelo, um par de sensores infravermelhos (5) confere ao protótipo a capacidade de seguir-faixa, utilizando a reflexão da luz em demarcações na pista para navegação autônoma. A velocidade dos motores é precisamente ajustada pelo driver Ponte H (2) por meio de sinais de modulação por largura de pulso (PWM). A lógica de segurança é acionada quando o sensor ultrassônico (6) detecta um obstáculo a uma distância igual ou inferior ao limiar crítico de 10 cm. Nesse instante, o ESP32 interpreta o sinal como um risco de colisão iminente e executa o protocolo de frenagem de emergência: um comando é enviado à Ponte H (2) para cessar imediatamente a alimentação dos motores (1), resultando na parada do veículo e evitando o impacto.

Figura 2 - Circuito eletrônico instalado com a miniatura de caminhão



Fonte: Autores

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fase final do projeto consistiu na montagem do circuito eletrônico na miniatura de caminhão e na execução de testes de validação funcional. Nestas avaliações, o sistema demonstrou resultados positivos, confirmando a eficácia da arquitetura proposta para a finalidade de segurança. A funcionalidade principal, correspondente à frenagem autônoma de emergência, foi validada com sucesso: ao identificar um obstáculo a uma distância igual ou inferior ao limiar predefinido de 10 cm, o sensor ultrassônico enviou um alerta ao microcontrolador, que, por sua vez, comandou a interrupção da alimentação dos motores, resultando na parada efetiva do protótipo e evitando a colisão simulada.

A performance observada em bancada representa a validação do conceito central da pesquisa, demonstrando que a integração de sensores de proximidade com uma unidade de controle é capaz de mitigar riscos de colisão de forma autônoma, independentemente da ação de um condutor. Mesmo sendo um protótipo desenvolvido em um cenário otimizado, os testes confirmam a viabilidade da solução. Contudo, é imperativo reconhecer as limitações inerentes a um modelo em escala. A transição do sistema para aplicação em caminhões reais exigirá adaptações substanciais, notadamente a substituição dos componentes de pequeno porte por sensores e atuadores de nível industrial, capazes de se integrar aos sistemas de frenagem eletrônica (EBS) e pneumática de veículos pesados. Apesar dessa necessidade de escalonamento, os dispositivos empregados no protótipo se mostraram eficazes e o princípio de funcionamento demonstrou ser uma garantia para a segurança veicular.

5 CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou com sucesso o desenvolvimento e a validação de um sistema de segurança veicular de baixo custo, voltado à prevenção de colisões de caminhões com obstáculos de altura em ambientes urbanos. A partir da construção de um protótipo funcional em escala, que integra sensores ultrassônicos e um microcontrolador ESP32, foi possível comprovar a eficácia da arquitetura proposta em detectar ameaças iminentes e acionar autonomamente os freios, atingindo os objetivos propostos. Embora os resultados sejam promissores, a implementação em veículos comerciais demandará a adaptação para componentes de nível industrial e a integração com sistemas de frenagem eletrônica (EBS). Trabalhos futuros devem se concentrar na fusão com outros sensores, como radar e câmeras, para aumentar a robustez do sistema em diferentes condições operacionais e na realização de testes de campo para validar o desempenho em cenários reais.

REFERÊNCIAS

COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO. Tabela com o número de ocorrências entre janeiro de 2017 a junho de 2022. [S. l.], 2022. Disponível em: 31/07/2022.

GABRIELLI, L.; MIGLIORELLI, L.; CANTARINI, M.; MANCINI, A.; SQUARTINI, S. An advanced multimodal driver-assistance prototype for emergency-vehicle detection.

Integrated Computer-Aided Engineering, v. 31, p. 381-399, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3233/ICA-240733>.

KLAUTAU, A.; GONZÁLEZ-PRELCIC, N.; HEATH, R. LIDAR data for deep learning-based mmWave beam-selection. *IEEE Wireless Communications Letters*, v. 8, p. 909-912, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1109/LWC.2019.2899571>.

MEDVEDIEV, K.; YEVSEICHYK, Y.; YANCHUK, L.; PAROVENKO, O.; FAL, A. Problems of the urban transport system with regard to freight transport. *Automobile Roads and Road Construction*, [S. l.], 2024. DOI: <https://doi.org/10.33744/0365-8171-2024-115.2-051-061>.

STATENIN, A.; VIZGALIN, S.; EPIFANOV, V. Analysis of freight transportation problems in city communication. *Bulletin of Ulyanovsk State Technical University*, [S. l.], 2024. DOI: <https://doi.org/10.61527/1684-7016-2024-2-74-79>.

WU, C.; CAO, J.; DU, Y. Impacts of advanced driver assistance systems on commercial truck driver behaviour performance using naturalistic data. *IET Intelligent Transport Systems*, [S. l.], 2022. DOI: <https://doi.org/10.1049/itr2.12242>.

XU, Y.; YE, Z.; WANG, C. Modeling commercial vehicle drivers' acceptance of advanced driving assistance system (ADAS). *Journal of Intelligent and Connected Vehicles*, [S. l.], 2021. DOI: <https://doi.org/10.1108/jicv-07-2021-0011>.

YAN, B.; ROBERTS, I. Advancements in millimeter-wave radar technologies for automotive systems: a signal processing perspective. *Electronics*, [S. l.], 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics14071436>.

AGRADECIMENTOS

À Faculdade SENAI, Direção da Escola SENAI “Paulo Antônio Skaf”, coordenação, equipe técnica, docentes, estudantes e parceiros institucionais, pelo apoio essencial à realização deste trabalho.

SOBRE O(S)AUTOR(ES)

ⁱ Thainara Martins Porcidonio (Autor 1)



Possui Técnico e Tecnólogo em Mecatrônica Industrial; É Pós-graduanda em Inteligência Artificial (SENAI-SP). <https://orcid.org/0009-0009-6264-0242>

ii Caique Zaneti Kirilo (Autor 2)

Possui bacharelado em Ciência da Computação (2012-2015); Mestrado em Engenharia de Produção com ênfase em Inteligência Artificial e Seis Sigma na linha de pesquisa de Métodos Quantitativos em Engenharia de Produção focada em Processos decisórios baseados em lógicas não clássicas (2016-2017); É Doutorando em Engenharia da Informação pela Universidade Federal do ABC. Atua como Professor Universitário e Pesquisador integrante do Grupo de Pesquisa de Engenharia de Software aplicada à criação de Sistemas Críticos, atuando também como orientador em programas de iniciação científica de alunos da graduação.
<https://orcid.org/0000-0001-5667-0861>

iii Jéssica Franzon Cruz do Espírito Santo (Autor 3)

Possui graduação (Bacharelado) em Ciência da Computação (2018-2021) pela Universidade Paulista (UNIP); Pós-graduada em Gestão Educacional na Perspectiva Inclusiva (2022) pela Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) e Pós-graduada em Psicopedagogia (2024) pela Faculdade das Américas (FAM); É Mestranda em Engenharia da Informação pela Universidade Federal do ABC. Atua como Professora na Faculdade Senai no campus Paulo Antônio Skaf no curso de Ciência de Dados.
<https://orcid.org/0000-0002-2812-3673>